T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ORMAN EKOSİSTEMLERİNİN EROZYONU ÖNLEME FONKSİYONUNUN AMENAJMAN PLANLAMA SÜRECİNE ENTEGRASYONU

DOKTORA TEZİ

Can VATANDAŞLAR

Danışman
Doç. Dr. Mehmet YAVUZ

ARTVİN - 2020

T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ORMAN EKOSİSTEMLERİNİN EROZYONU ÖNLEME FONKSİYONUNUN AMENAJMAN PLANLAMA SÜRECİNE ENTEGRASYONU

DOKTORA TEZİ

Can VATANDAŞLAR

Danışman
Doç. Dr. Mehmet YAVUZ

ARTVİN - 2020

TEZ BEYANNAMESİ

Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'ne Doktora Tezi olarak sunduğum "Orman Ekosistemlerinin Erozyonu Önleme Fonksiyonunun Amenajman Planlama Sürecine Entegrasyonu" başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Mehmet YAVUZ'un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, toprak analizlerini laboratuvarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 10/12/2020

Can VATANDAŞLAR

T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ORMAN EKOSİSTEMLERİNİN EROZYONU ÖNLEME FONKSİYONUNUN AMENAJMAN PLANLAMA SÜRECİNE ENTEGRASYONU

Can VATANDAŞLAR

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10/12/2020

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 29/12/2020

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet YAVUZ

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Uzay KARAHALİL

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Mustafa TÜFEKÇİOĞLU

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ömer KARA

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Mehmet ÖZALP

ONAY:

Bu Doktora Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından 29/12/2020 tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun ..../...../..... tarih ve ..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

..../...../.....

Doç. Dr. Hamit ŞAFAKCI

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

"Orman Ekosistemlerinin Erozyonu Önleme Fonksiyonunun Amenajman Planlama Sürecine Entegrasyonu" başlığını taşıyan bu çalışma, Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora tezi olarak hazırlanmıştır. Yoğun emek gerektiren bu tez çalışmasını tek başıma tamamlayabilmem mümkün değildi. Bu nedenle, eserin ortaya çıkmasında emeği geçen kişilere teşekkürlerimi sunmayı bir görev sayarım.

Öncelikle, danışmanlığımı üstlenen ve çalışmaya yön vererek bana her anlamda destek olan Sayın Hocam Doç. Dr. Mehmet YAVUZ'a gösterdiği özveriden dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışma boyunca katkılarını esirgemeyen Tez İzleme Komitesi üyeleri Sayın Doç. Dr. Mustafa TÜFEKÇİOĞLU ve Sayın Doç. Dr. Uzay KARAHALİL'e teşekkürü her zaman borç bilirim.

Arazi ve laboratuvar çalışmalarının çeşitli safhalarında bana yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Ahmet DUMAN, Arş. Gör. Burak KILIÇ, Burhan HARŞİT, Canan AÇIKGÖZ HARŞİT, Öğr. Gör. Caner SATIRAL, Dr. Öğr. Üyesi İsmet YENER, Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KÜÇÜK, Dr. Öğr. Üyesi Musa DİNÇ ve Salih ÖZDEMİR'e çok teşekkür ederim. Engin tecrübelerini benimle paylaşan başta Prof. Dr. Hakkı YAVUZ, Prof. Dr. Orhan DENGİZ ve Doç. Dr. Ulaş Yunus ÖZKAN'a; veri temininde destek olan Dr. Öğr. Üyesi Aydın KAHRİMAN, Başmüh. Caner AKGÜL, Orm. İşl. Şefi Fatih KIZILASLAN ve Orm. İşl. Şefi Murathan HEKİMOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. Arazi çalışmalarımız boyunca konaklama ve ulaşım konusunda bize destek olan Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi yönetimi, Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA), Orman Genel Müdürlüğü ve Doğa Koruma ve Milli Parklar 12. Bölge Müdürlüğü ve yöneticilerine ayrıca teşekkür ederim.

Son olarak, moral desteğinden ötürü değerli eşim Senem Ezgi VATANDAŞLAR'a şükranlarımı sunar; çalışma çıktılarının başta orman amenajmanı camiası olmak üzere ilgili tüm disiplinlere faydalı olmasını dilerim.

Can VATANDAŞLAR

Artvin - 2020

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ BEYANNAMESİ II
ÖNSÖZ III
İÇİNDEKİLER IV
ÖZET VIII
SUMMARY X
TABLOLAR DİZİNİ XII
ŞEKİLLER DİZİNİ XV
KISALTMALAR DİZİNİ XVIII
1. GENEL BİLGİLER 1
1.1. Giriş 1
1.2. Erozyon Kavramı 5
1.2.1. Erozyonun Tanımı ve Çeşitleri 5
1.2.2. Dünyada Toprak Erozyonu 9
1.2.3. Türkiye'de Toprak Erozyonu 12
1.2.3.1. Türkiye'de Erozyonla Mücadelenin Tarihçesi ve Sorumlu Kuruluşlar 14
1.2.3.2. Türkiye'de Erozyonla Mücadele Faaliyetleri 16
1.2.4. Erozyon Tahmin Modelleri 20
1.2.4.1. RUSLE Erozyon Tahmin Modeli 24
1.2.5. Erozyon Tahmin Modellerine UA ve CBS'nin Entegrasyonu 29
1.3. Sürdürülebilir Orman Yönetimi (SOY) Kavramı 32
1.3.1. Dünyada SOY Kriter ve Göstergeleri 35
1.3.2. Türkiye İçin Geliştirilmiş SOY Kriter ve Göstergeleri 39
1.3.3. SOY'nin Uygulamaya Aktarılması ve Planlama Sistemleri 42
1.3.3.1. Orman Fonksiyonları ve Sınıflandırılması 44
1.3.3.2. Ormanların Erozyonu Önleme Fonksiyonu 51
1.3.3.3. Erozyonu Önleme Fonksiyonunun Planlamaya Entegrasyonu 57
1.3.3.3.1. Dünyadaki Entegrasyon Stratejisi 57
1.3.3.3.2. Türkiye'deki Entegrasyon Stratejisi ve ETFOP 70
1.4. Konuyla İlgili Yapılmış Çalışmalar 78

2. MATERYAL VE YÖNTEM 87
2.1. Çalışma Alanlarının Tanıtımı 87
2.1.1. Coğrafi Konum ve Demografik Özellikler 87
2.1.2. Topografik Yapı 90
2.1.3. Arazi Kullanımı ve Arazi Örtüsü (AKAÖ) 94
2.1.4. Biyoçeşitlilik 96
2.1.5. İklim 99
2.1.6. Toprak ve Anakaya 100
2.1.7. Orman Fonksiyonları 103
2.2. Kullanılan Materyaller 105
2.2.1. Uzaktan Algılama Ürünleri 105
2.2.1.1. Hava Fotoğrafları ve Ortofotolar 105
2.2.1.2. Uydu Görüntüleri 106
2.2.1.3. Sayısal Yükseklik Modeli ve Memleket Haritaları 108
2.2.2. Teknik Alet ve Ekipmanlar 109
2.2.3. İklim Verileri 109
2.2.4. Orman Amenajman Plan Verileri 110
2.3. Yöntem 111
2.3.1. Kavramsal Çerçeve ve Senaryo Tasarımı 111
2.3.2. Hazırlık Çalışmaları ve Örnekleme Tasarımı 114
2.3.3. Arazi Çalışmaları 116
2.3.4. Arazi Sonrası Büro Çalışmaları 120
2.3.4.1. Meşcere Haritalarının Güncellenmesi 120
2.3.4.2. Meşcere Parametrelerinin Hesaplanması 121
2.3.4.3. NDVI Haritasının Üretilmesi 124
2.3.4.4. Örnek Alanlarda Ortalama NDVI Değerinin Hesaplanması 125
2.3.5. Laboratuvar Çalışmaları 125
2.3.5.1. Tekstür Analizi 126
2.3.5.2. Topraktaki Organik Madde İçeriğinin Belirlenmesi 127
2.3.6. RUSLE ile Sahadaki Potansiyel Erozyonun Tahmini 128
2.3.6.1. Yağmur Erozivite ve Yüzeysel Akış (R) Faktörünün Hesaplanması 129
2.3.6.2. Toprak Aşınım (K) Faktörünün Hesaplanması 130
2.3.6.3. Yamaç Uzunluğu ve Eğim (LS) Faktörünün Hesaplanması 131

2.3.6.4. Bitki Örtüsü ve Ürün Yönetimi (C) Faktörünün Hesaplanması 132
2.3.6.5. Toprak Koruma Önlemleri (P) Faktörünün Hesaplanması 135
2.3.6.6. Sediment İletim Oranı ve Sediment Veriminin Hesaplanması 135
2.3.7. Senaryo 1 ile Sahadaki Maksimum Erozyonun Tahmini 136
2.3.8. Senaryo 2 ile Sahada Önlenen Erozyonun Tahmini ve TKPİ 137
2.3.9. Erozyonu Önleme Fonksiyonu Görecek Sahaların Belirlenmesi ve Tolere Edilebilir Toprak Kaybı 138
2.3.10. Periyodik Etadaki Kayıp ve Kazançların Hesaplanması 140
2.3.11. İstatistik Analizler 141
2.3.11.1. Kolmogorov−Smirnov Testi 142
2.3.11.2. Pearson'ın Korelasyon Analizi 142
2.3.11.3. Bağımsız Örneklemler t-Testi 143
2.3.11.4. Tek Yönlü Varyans Analizi 143
2.3.11.5. Regresyon Analizi ve Modellerin Geliştirilmesi 144
2.3.11.5.1. En Başarılı Modelin Seçimi 146
2.3.12. Meşcere Tipi Ölçeğinde Kılavuz Erozyon Tablosunun Oluşturulması 148
2.3.13. Fonksiyonun Hasılat Tablosuna Entegrasyonu 149
3. BULGULAR VE TARTIŞMA 151
3.1. Envanter Verilerine İlişkin Bulgular 151
3.1.1. Meşcere Parametreleri 151
3.1.2. Toprak Özellikleri 156
3.1.3. Çevresel Faktörler 158
3.2. Toprak Erozyonuna İlişkin Bulgular 160
3.2.1. Sahadaki Potansiyel Erozyon 160
3.2.1.1. Yağmur Erozivite ve Yüzeysel Akış (R) Faktörü 161
3.2.1.2. Toprak Aşınım (K) Faktörü 164
3.2.1.3. Yamaç Uzunluğu ve Eğim (LS) Faktörü 168
3.2.1.4. Bitki Örtüsü ve Ürün Yönetimi (C) Faktörü 171
3.2.1.4.1. NDVI Haritalarının Üretilmesi 174
3.2.1.4.2. C-faktörü Modellerinin Geliştirilmesi 176
3.2.1.4.3. En İyi C-faktör Modelinin Seçimi 179
3.2.1.4.4. C-faktörünün Haritalanması 185
3.2.1.5. Toprak Koruma Önlemleri (P) Faktörü 197

3.2.1.6. Sediment İletim Oranı ve Sediment Verimi 197
3.2.1.7. Yıllık Potansiyel Toprak Kaybı (A) 198
3.2.1.8. Erozyon Riskinin Alansal Analizi 205
3.2.2. Sahadaki Maksimum Erozyon (Senaryo 1) 207
3.3. Erozyonu Önleme Fonksiyonuna İlişkin Bulgular 211
3.3.1. Sahada Önlenen Erozyon (Senaryo 2) 211
3.3.2. Toprak Koruma Performans İndisi (TKPİ) Haritaları 215
3.4. İstatistiksel Analizlerin Değerlendirilmesi 224
3.4.1. Toprak Özellikleriyle İlgili İlişkiler 224
3.4.1.1. Veliköy Planlama Birimi 224
3.4.1.2. Olur Planlama Birimi 231
3.4.2. Erozyonu Önleme Fonksiyonuyla İlgili İlişkiler 238
3.4.2.1. Veliköy Planlama Birimi 238
3.4.2.2. Olur Planlama Birimi 249
3.4.3. Öne Çıkan İlişkiler ve Pratik Kullanım İçin Üretilen Modeller 263
3.5. Planlamaya Entegrasyon 266
3.5.1. Erozyonu Önleme Fonksiyonu Görecek Sahalar 266
3.5.2. Doğa Koruma Fonksiyonundan Alınıp Üretime Verilebilecek Sahalar 277
3.5.3. Periyodik Etadaki Kayıp ve Kazançlar 283
3.5.4. Meşcere Tipi Ölçeğinde Kılavuz Erozyon Tablosu 286
3.5.5. Fonksiyonun Sarıçam Hasılat Tablosuna Entegrasyonu 288
3.5.6. İdare süresinin belirlenmesi ve optimal meşcere parametreleri 291
3.5.7. Erozyon Haritasının Meşcere Haritasına Altlık Olarak Kullanılması 292
4. SONUÇ VE ÖNERİLER 296
EKLER 307
KAYNAKLAR 334
ÖZGEÇMİŞ 359

ÖZET

ORMAN EKOSİSTEMLERİNİN EROZYONU ÖNLEME FONKSİYONUNUN AMENAJMAN PLANLAMA SÜRECİNE ENTEGRASYONU

Toprak erozyonuyla oluşan arazi tahribatı, dünyanın birçok yerinde olduğu gibi Türkiye'de de en önemli çevresel sorunlardan biridir. Orman ekosistemleri, doğru yönetildikleri takdirde, bu sorunun çözümünde kilit rol oynamaktadırlar. Bu rolün daha da etkinleştirilmesi için ormanların odun üretimi gibi ekonomik fonksiyonlarının yanı sıra, erozyonu önleme gibi ekolojik fonksiyonlarının da *Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel/Çok Amaçlı Planlama* (ETFOP) yaklaşımıyla hazırlanan orman amenajman planlarına yansıtılmaları gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı; ormanların erozyonu önleme fonksiyonunun Türkiye'deki ETFOP sistemine entegrasyonudur. Bu amaçla; Veliköy ve Olur Planlama Birimleri (PB)'nin (i) yıllık potansiyel toprak kaybı ve erozyonu önleme fonksiyonlarını sayısallaştırarak haritalamak, (ii) amenajman planlarında erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılması gereken alanları belirlemek, (iii) bunun için gerekli olan kriter ve göstergeleri geliştirmek ve (iv) Toprak Koruma İşletme Sınıfları'nda toprak kaybını minimize edecek optimal orman kuruluşunu ortaya koymak hedeflenmiştir. Her iki PB'nde toplam 250 örnek alanda ağaç serveti ve artım envanteri yapılmıştır. Örnek alanlarda ölü örtü kalınlığı, diri örtü yüksekliği gibi birçok ilave değişken de ölçülmüş ve üst toprak örnekleri toplanmıştır. Erozyon risk haritaları ise Yenilenmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (RUSLE) kullanılarak çok yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafları ile üretilmiştir. Ormanların erozyonu önleme fonksiyonunu sayısallaştırmak için sahada hiç bitki örtüsünün olmadığını varsayan ve mevcut durumu modelleyen senaryolar tasarlanmıştır. Böylece sahadaki maksimum erozyon, potansiyel erozyon, önlenen erozyon ve toprak koruma performans indisi (TKPİ) gibi kantitatif göstergeler elde edilmiştir. Bu göstergeler yardımıyla, erozyonu önleme fonksiyonunu meşcere yapısıyla sayısal olarak ilişkilendirmek mümkün olmuştur.

Veliköy ve Olur PB'lerinde ormanların erozyonu önleme fonksiyonu sayesinde önlenen toprak kaybı miktarı sırasıyla 2,59 ve 5,08 Mt $yıl^{-1}$'dır. Normal (>%10) kapalılıktaki ormanlar, bulundukları sahadaki erozyonu çıplak saha koşullarına göre

%95'e varan oranlarda azaltabilmişlerdir. Değişik yaşlı seçme ormanlarda GD, GLD, LA rumuzlu kuruluşların; aynı yaşlı maktalı ormanlarda ise Çsc3, Çscd3, LGÇscd3 gibi meşcere tiplerinin ilgili fonksiyonu en iyi şekilde yerine getirdikleri anlaşılmıştır. Bu meşcerelerde neredeyse hiç erozyon yaşanmamıştır. Veliköy ve Olur'daki tüm bitki örtüsünün erozyonu önleme fonksiyonuna rağmen, sahadaki potansiyel toprak kaybı miktarlarının sırasıyla ort. 7,8 ve 15,8 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ olduğu tahmin edilmiştir.

Erozyon haritaları altlık olarak kullanılarak, potansiyel toprak kaybı tolere edilebilir miktarın (5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$) üzerinde olan orman alanları erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılmış ve bu tür alanlara eta verilmemiştir. Diğer yandan, daha önce planlarda doğayı koruma fonksiyonuna ayrılmış olan fakat erozyon riski bulunmayan ormanlar tespit edilerek, bunların bir kısmı üretime aktarılmıştır. Yeni düzenlemeyle, Veliköy ve Olur PB'lerindeki erozyon azaltıldığı gibi, toplam periyodik (20 yıllık) eta miktarları da sırasıyla %12,3 ve %1,8 oranlarında artmıştır. Dolayısıyla, ilgili mevzuatta erozyonu önleme ve doğayı koruma fonksiyonlu ormanları belirlerken kullanılan ayrım kriterleri gözden geçirilmelidir.

Sonuç itibariyle, ormanların erozyonu önleme fonksiyonunu maksimize edebilmek için değişik yaşlı seçme kuruluşunun tercih edilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bunun mümkün olmadığı yerlerde saf ibreli, çok katlı ve sık meşcereler kurulmalıdır. Hangi meşcere tipi olursa olsun, ormanın kapalılık derecesi olabildiğince yüksek tutulmalıdır. Erozyonu önleme fonksiyonlu Sarıçam işletme sınıfları için optimal idare süresi, 100−120 yıl olmalıdır. Özellikle yüksek eğimli (>%30) sahalarda, 120 yılı aşan idare süresinin yıllık potansiyel toprak kaybı miktarını giderek arttırdığı anlaşılmaktadır. Sarıçam'ın Toprak Koruma İşletme Sınıfları için hedeflenmesi gereken göğüs yüzeyi ise yaklaşık 55 m^2 ha^{-1}'dır.

Bu çalışmada üretilen performans göstergeleri ve diğer modellerin, plan yapıcılar için önemli birer veri kaynağı oluşturacağı ve ileride geliştirilecek modelleme yazılımlarına altlık oluşturarak, bilimsel karar verme süreçlerinde yardımcı olacağı düşünülmektedir. Böylece gelişmiş ülkelerde olduğu gibi, Türkiye ormancılığında da gerçek anlamıyla ETFOP uygulamasına bir adım daha yaklaşılmış olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Orman Amenajmanı, Amenajman Planları, Orman Fonksiyonları, RUSLE, Toprak Koruma Performans İndisi

SUMMARY

INTEGRATING EROSION CONTROL VALUE OF FOREST ECOSYSTEMS INTO FOREST MANAGEMENT PLANNING PROCESS

Erosion-induced land degradation is considered to be one of the most important environmental problems in Turkey, as well as many parts of the world. Forest ecosystems play a crucial role in solving the problem if properly managed. Improving this role is closely related to integrating the ecological values of forests –such as erosion control– into forest management plans prepared under the *Ecosystem-based Multi-functional Forest Planning* (EBMFP) concept.

The main objective of this study is to integrate the erosion control value of forests into the EBMFP system used in Turkey. To this end, the aims were to; (i) quantify and map the annual potential soil loss and erosion control value, (ii) determine the forest areas allocated for erosion control in forest management plans, (iii) develop useful performance indicators for the integration process, and (iv) determine optimal forest forms minimizing soil losses in Veliköy and Olur Forest Planning Units (FPUs). Within these FPUs, growing stock and increment inventory was performed on 250 sample plots. In addition to typical inventory parameters; litter thickness, undergrowth height, and surface roughness were measured on the ground. Besides, topsoil samples were collected from each plot. Erosion risk maps were generated using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) with very-high-resolution aerial photographs. Two scenarios were developed for quantifying the erosion control value. Thus, the amount of maximum, potential, and prevented erosion, as well as the soil protection performance index (SPPI), were calculated for the case study areas. Finally, the erosion control value was quantitatively related to each stand's biophysical structure.

Thanks to the erosion control value of forests, 2.59 and 5.08 Mt yr^{-1} of soil were retained in place in Veliköy and Olur FPUs, respectively. Productive forests (canopy cover>10%) could reduce erosion rates by as much as 95% compared to the bareland conditions. In terms of soil protection performance, the best stand types were GD, GLD, and LA among uneven-aged forests, while Çsc3, Çscd3, and LGÇscd3 were prominent among even-aged stands. There was almost no soil loss on lands covered

by those stand types. Despite the protective effects of all land cover types in the FPUs, the average annual soil losses were predicted to be 7.8 and 15.8 t ha^{-1} yr^{-1} for Veliköy and Olur, respectively.

Given the erosion risk maps, the forest lands currently suffering from intolerable soil losses (>5 t ha^{-1} yr^{-1}) were allocated to erosion control and no wood production activity was planned for those forests. On the other hand, the forest lands previously allocated to the nature protection value, but showing no erosion risk, were detected and some of them were assigned to wood production. Thanks to the new arrangement, potential soil losses were reduced while periodic (20-year) allowable cut amounts increased by 12.3% and 1.8% for Veliköy and Olur FPUs, respectively. Thus, we conclude that the functional land allocation criteria currently used in the Turkish forest management guideline need to be revised.

Overall, an uneven-aged management system should be preferred for maximizing the erosion control value provided by forest ecosystems. If this is impossible due to poor site conditions, the establishment of multiple-layered, dense, and pure coniferous stands should be aimed. No matter which stand type is preferred, the forest's canopy cover ratio must be as high as possible. The optimal rotation age is 100−120 years for Scots pine forests allocated for erosion control. Potential soil loss gradually increases after 120 years, particularly on steep sites (slope>30%) of Scots pine. Finally, a stand basal area of around 55 m^2 ha^{-1} seems to be optimal for these forests.

The performance indicators, models, and maps presented in this study are expected to be essential data sources for forest management planners and practitioners. These may also help in scientific decision-making by serving as a baseline for national decision support systems to be activated in the future. Thus, Turkey will likely move towards more effective implementation of the EBMFP on the ground, like many developed countries.

Keywords: Forest Management Planning, Management Plans, Forest Values, RUSLE, Soil Protection Performance Index

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Çeşitli AKAÖ tipleri için C-faktörleri (Renard ve ark., 1997) 27

Tablo 2. SOY'ne ait kriter ve göstergelerin rolü (Forest Europe, 2011) 36

Tablo 3. Pan−Avrupa sürecine ait SOY kriter ve göstergeleri (Forest Europe, 2011) 38

Tablo 4. SOY kapsamında Türkiye için geliştirilmiş nicel K&G'ler (OGM, 2020) 40

Tablo 5. Türkiye'nin SOY raporlama cetveline ait bir tablo (OGM, 2010) 42

Tablo 6. Orman fonksiyonları, işletme amaçları ve koruma hedefleri (OGM, 2017) 47

Tablo 7. Erozyon riskinin belirlenmesinde kullanılan bir kılavuz tablo (K-faktör değerleri U.S. birimidir; WFPB, 1992) 62

Tablo 8. Victoria Eyaleti'ndeki ormanlarda erozyon risk analizi için oluşturulmuş özet karneler (Ryan ve ark., 1998) 63

Tablo 9. Toprağın bozunmaya karşı duyarlılığı modülündeki göstergeler ve puanlandırma sistemi (Ryan ve ark., 1998) 64

Tablo 10. Bol yağışlı alanlar için kullanılan toprak erodibilite sınıflandırma cetveli (CaLM, 1993) 66

Tablo 11. Britanya Kolumbiyası'nda toprak sıkışması ve kaymak tabaka oluşma riskini değerlendiren kılavuz tablo (BCMF, 1999) 68

Tablo 12. Dünyada erozyonun değerlendirilmesi amacıyla kullanılan göstergeler (Vatandaşlar ve ark. 2020'den değiştirilerek) 70

Tablo 13. 299 sayılı tebliğde erozyonu önleme fonksiyonununun ölçüt ve göstergeleri (OGM, 2014b; 2017) 74

Tablo 14. Veliköy ve Olur PB'lerindeki AKAÖ tipleri ve alansal dağılımı 95

Tablo 15. Veliköy Planlama Birimi'ndeki hedef türler 97

Tablo 16. Olur Planlama Birimi'ndeki ağaç ve diğer bitki türleri (OGM, 2015b) 99

Tablo 17. Büyük Toprak Grupları'nın çalışma alanlarına dağılımı 102

Tablo 18. HGK'ya ait hava kamerasının teknik özellikleri (Çam ve ark., 2013) 106

Tablo 19. WorldView-2 ve Landsat-8 özellikleri (Digital Globe, 2010) 108

Tablo 20. Örnek alanlarda ölçülen meşcere parametrelerine ilişkin bulgular 152

Tablo 21. Örnek alanlardan toplanan toprak özelliklerine ilişkin bulgular 156

Tablo 22. Örnek alanlarda ölçülen çevresel faktörlere ilişkin bulgular 158

Tablo 23. Veliköy ve Olur Planlama Birimleri'ne ait R-faktörü değerleri 162

Tablo 24. Veliköy ve Olur Planlama Birimleri'nin K-faktörü değerleri 166
Tablo 25. Veliköy ve Olur PB'lerinin LS-faktör değerleri 169
Tablo 26. Veliköy ve Olur PB'nde sahada ölçülen C-faktörü değerleri..... 172
Tablo 27. Veliköy PB için geliştirilen regresyon modelleri ve katsayıları 178
Tablo 28. Olur PB için kurulan regresyon modeller ve katsayıları..... 179
Tablo 29. Veliköy PB C-faktör modellerine ait istatistik ölçütler 180
Tablo 30. Veliköy PB için modellerin puanlandırılması ve başarı sıralaması..... 181
Tablo 31. Olur PB C-faktör modellerine ait istatistik ölçütler..... 183
Tablo 32. Olur PB için modellerin puanlandırılması ve başarı sıralaması 183
Tablo 33. Veliköy ve Olur PB C-faktörü haritalarına ait istatistikler..... 186
Tablo 34. Arazi kullanımı/arazi örtüsü itibariyle C-faktörü değerleri 189
Tablo 35. Veliköy ve Olur PB'lerinin yıllık pot. toprak kaybı istatistikleri 201
Tablo 36. Veliköy ve Olur PB'lerindeki erozyon riskinin alana dağılımı 206
Tablo 37. Veliköy ve Olur PB'lerinde bitki örtüsü olmaması durumunda oluşabilecek erozyon riskinin alana dağılımı 208
Tablo 38. Veliköy ve Olur PB'lerinde oluşabilecek maksimum toprak kayıplarına ait istatistikler 209
Tablo 39. Veliköy ve Olur PB'nde önlenen erozyona ilişkin istatistikler 213
Tablo 40. Çalışma alanlarına ait AKAÖ'lerinin ort. toprak koruma performansları..... 217
Tablo 41. Veliköy PB'nde orman arazi kullanımına ait değişkenler arası korelasyonlar 225
Tablo 42. Veliköy PB'nde orman dışı arazi kullanımlarına ait değişkenler arası korelasyonlar 226
Tablo 43. Veliköy PB'nde aralarında anlamlı ilişki bulunan değişkenler (t-testi) ... 227
Tablo 44. Veliköy PB'nde aralarında anlamlı ilişki bulunan değişkenler (ANOVA) 229
Tablo 45. Olur PB'nde orman arazi kullanımına ait değişkenler arası korelasyonlar 232
Tablo 46. Olur PB'nde orman dışı arazi kullanımlarına ait değişkenler arası korelasyonlar 233
Tablo 47. Olur PB'nde aralarında anlamlı ilişki bulunan değişkenler (t-testi)..... 235
Tablo 48. Olur PB'nde aralarında anlamlı ilişki bulunan değişkenler (ANOVA) ... 237
Tablo 49. Veliköy PB'nde erozyonu önleme fonksiyonuna ilişkin göstergelerin birbirleriyle ve diğer değişkenlerle olan korelasyonları 240
Tablo 50. Veliköy PB'nde aralarında anlamlı ilişki bulunan değişkenler (t-testi) ... 243

Tablo 51. Veliköy PB'nde aralarında anlamlı ilişki bulunan değişkenler (ANOVA) 248
Tablo 52. Olur PB'nde erozyonu önleme fonksiyonuna ilişkin göstergelerin birbirleriyle ve diğer değişkenlerle olan korelasyonları 253
Tablo 53. Olur PB'nde aralarında anlamlı ilişki bulunan değişkenler (t-testi)..... 257
Tablo 54. Olur PB'nde aralarında anlamlı ilişki bulunan değişkenler (ANOVA) ... 262
Tablo 55. Veliköy PB'nde erozyonu önleme fonksiyonu görecek verimli meşcereler 268
Tablo 56. Veliköy ve Olur PB'lerinde doğayı koruma fonksiyonundan çıkarılarak üretime ayrılabilecek bölmeciklerin dökümü 281
Tablo 57. Veliköy ve Olur PB'lerindeki eta miktarlarında oluşan değişimler 284
Tablo 58. Saf Sarıçam meşcereleri için oluşturulmuş kılavuz erozyon tablosu 287

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Erozyon çeşitleri; damla (a), yüzey (b), oluk (c), oyuntu (d) ve kanal (e) erozyonu (URL-1, 2015). 8

Şekil 2. Dünya toprak erozyonu haritası (Borrelli ve ark. 2017a'dan değiştirilerek) 11

Şekil 3. Türkiye su erozyonu haritası (Erpul ve ark., 2018) 13

Şekil 4. Modelin çalışma prensibi ve RUSLE faktörleri (UVM 2019'dan değiştirilerek) 25

Şekil 5. Canlı ve cansız vejetasyonun yakın kızılötesi ve görünür ışığı yansıtma oranları (NASA 2013'ten değiştirilerek) 31

Şekil 6. Orman ekosistemlerine ait değerlerin (fonksiyonların) dengelenmesi (Resolution H1 1993'ten değiştirilerek) 34

Şekil 7. Sürdürülebilir Orman Yönetimi hiyerarşisi (OGM 2010'dan değiştirilerek) 35

Şekil 8. Bitki örtüsünün erozyon önlemedeki rolü (EPA 2013'dan değiştirilerek) 52

Şekil 9. Avrupa'da toprak ve su koruma fonksiyonuna ayrılan orman alanlarının ülkelerin toplam ormanlık alanlarına oranını gösterir harita (San-Miguel-Ayanz ve ark. 2011'den değiştirilerek) 58

Şekil 10. 299 sayılı tebliğe göre Türkiye ormanlarında gerçekleştirilen ağaç serveti ve artım envanteri için kullanılan örnekleme tasarımları 76

Şekil 11. Veliköy Planlama Birimi'nin coğrafi konumu 88

Şekil 12. Olur Planlama Birimi'nin coğrafi konumu 89

Şekil 13. Veliköy Planlama Birimi'nin yükseklik haritası 91

Şekil 14. Veliköy Planlama Birimi'nin bakı (a) ve eğim (b) haritaları 91

Şekil 15. Olur Planlama Birimi'nin yükseklik haritası 92

Şekil 16. Olur Planlama Birimi'nin bakı (a) ve eğim (b) haritaları 93

Şekil 17. Olur Planlama Birimi'ndeki Akdağ sırtından bir görünüm 94

Şekil 18. Veliköy PB'ndeki mera arazi kullanımından bir görünüm 95

Şekil 19. Olur PB'nde boşluklu ve normal kapalılıktaki orman arazileri 96

Şekil 20. Veliköy (a) ve Olur (b) PB'lerinin toprak haritaları 101

Şekil 21. Veliköy Planlama Birimi orman fonksiyonları haritası 104

Şekil 22. Olur Planlama Birimi orman fonksiyonları haritası 105

Şekil 23. Çalışmanın kavramsal çerçevesi ve temel iş adımları 111

Şekil 24. Erozyonu önleme fonksiyonunun sayısallaştırılması 112

Şekil 25. Örnek alanların çalışma sahalarına dağılımı: Veliköy PB (a), Olur PB (b) 116
Şekil 26. Arazi çalışmalarından görünümler; meşcere parametrelerinin ölçümü (a), üst toprak örneklerinin alınması (b), ağaç boyu ölçümü (c), yüzey pürüzlülük ölçümü (d) 117
Şekil 27. Amenajman heyetleri tarafından daha önce ölçülmüş bir örnek alanda bırakılmış numara etiketi 119
Şekil 28. Meşcere haritasında bazı bölmecik sınırlarının ve rumuzların güncellenmesi 121
Şekil 29. Artım kalemleri üzerinde yaş ve son 10 yıllık halka tespiti 122
Şekil 30. Toprak örneklerinin hava kurusu hale getirilmesi (a) ve elenmesi (b) 126
Şekil 31. Hidrometre yöntemi için kullanılan silindirler 127
Şekil 32. Organik madde tayininde titrasyon aşamasından bir görünüm 128
Şekil 33. Çalışma sahalarına ait meşcere yapıları: Veliköy PB Lbc1 meşceresi (a) ve Olur PB BArDy-T meşceresi (b) 155
Şekil 34. Olur Planlama Birimi'nde gözlenen doğal jeomorfolojik oluşumlar 160
Şekil 35. Veliköy Planlama Birimi'ne ait R-faktörü haritası 162
Şekil 36. Olur Planlama Birimi'nin R-faktörü haritası 164
Şekil 37. Veliköy Planlama Birimi'ne ait K-faktörü haritası 165
Şekil 38. Olur Planlama Birimi'nin K-faktörü haritası 167
Şekil 39. Veliköy PB yamaç uzunluğu ve eğim (LS) faktörü haritası 169
Şekil 40. Olur PB yamaç uzunluğu ve eğim (LS) faktörü haritası 170
Şekil 41. Veliköy Planlama Birimi NDVI haritası 175
Şekil 42. Olur Planlama Birimi NDVI haritası 176
Şekil 43. Veliköy PB'nde NDVI ve C-faktörü arasındaki ilişki ve geliştirilen modellere ait kestirimler 177
Şekil 44. Olur PB'nde NDVI ve C-faktörü arasındaki ilişki ve geliştirilen modellere ait kestirimler 179
Şekil 45. Veliköy PB için yeni model ile tahmin edilen C-faktörü değerleri ile sahada ölçülen değerler arasındaki ilişki 181
Şekil 46. Veliköy PB'nde yeni modele ait hataların tahmin edilen C-faktörü değerlerine göre değişimi 182
Şekil 47. Olur PB için lojistik modelle tahmin edilen C-faktörü değerleri ile sahada ölçülen değerler arasındaki ilişki 184
Şekil 48. Olur PB'nde lojistik modele ait hataların tahmin edilen C-faktörü değerlerine göre değişimi 185
Şekil 49. Veliköy Planlama Birimi C-faktörü haritası 186

Şekil 50. Veliköy PB'ndeki sub-alpin meralarda oluşan oyuntu erozyonu ve taş akmaları (Barut, 2010) 187
Şekil 51. Olur Planlama Birimi C-faktörü haritası 193
Şekil 52. Veliköy PB yıllık potansiyel toprak kaybı haritası 198
Şekil 53. Olur PB yıllık potansiyel toprak kaybı haritası 202
Şekil 54. Bitki örtüsünün olmadığı Senaryo 1'de Veliköy PB'nde gerçekleşebilecek maksimum toprak kaybı haritası 209
Şekil 55. Bitki örtüsünün olmadığı Senaryo 1'de Olur PB'nde gerçekleşebilecek maksimum toprak kaybı haritası 210
Şekil 56. Veliköy PB'nde erozyonu önleme fonksiyonunun konumsal dağılımı 213
Şekil 57. Olur PB'nde erozyonu önleme fonksiyonunun konumsal dağılımı 215
Şekil 58. Veliköy PB'nin toprak koruma performans indisi (TKPİ) haritası 217
Şekil 59. Olur PB'nin toprak koruma performans indisi (TKPİ) haritası 221
Şekil 60. Bu çalışma kapsamında Veliköy PB'nde erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılan orman alanları 267
Şekil 61. Veliköy için üretilen haritaların karşılaştırılması: OAP fonksiyonları (a), bu çalışmada erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılan alanlar (b), önlenen erozyon (c) ve potansiyel erozyon (d) haritaları 271
Şekil 62. Veliköy (a) ve Olur (b) PB'lerinde %60 üstü eğime sahip ormanlık alanlar 272
Şekil 63. Bu çalışma kapsamında Olur PB'nde erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılan orman alanları 273
Şekil 64. Olur için üretilen haritaların karşılaştırılması: OAP fonksiyonları (a), bu çalışmada erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılan alanlar (b), önlenen erozyon (c) ve potansiyel erozyon (d) haritaları 277
Şekil 65. Veliköy (a) ve Olur (b) PB'nde %80 ve üstü eğime sahip ormanlık alanlar 279
Şekil 66. Veliköy (a) ve Olur (b) PB'lerinde doğayı koruma fonksiyonundan çıkarılarak üretime ayrılabilecek sahalar 280
Şekil 67. Erozyonu önleme fonksiyonuna ilişkin verilerin Sarıçam hasılat tablosuna (III. bonitet) göre değişimi 289
Şekil 68. Ek-17'nin 406 numaralı bölme için detaylı gösterimi: erozyon risk haritası (a) ve uydu görüntüsü (b) 294
Şekil 69. Ek-16'nın 71 numaralı bölme için detaylı gösterimi: erozyon risk haritası (a) ve hava fotoğrafı (b) 295

KISALTMALAR DİZİNİ

A	RUSLE ile tahmin edilen ortalama yıllık potansiyel toprak kaybı miktarı (Average annual potential soil loss)
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AGM	Ağaçlandırma Genel Müdürlüğü
AKAÖ	Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü
ANOVA	Analysis of variance (Varyans analizi)
ANSWERS	Areal Non-point Source Watershed Environment Response Simulation Model (Havza alansal tepki simülasyon modeli)
AIC	Akaike's Information Criterion (Akaike Bilgi Ölçütü)
APP	Amenajman Plan Programı
ATV	All Terrain Vehicles (Tüm arazilerde gidebilen küçük araçlar)
AVHRR	The Advanced Very High Resolution Radiometer (Gelişmiş Çok Yüksek Çözünürlüklü Radyometre)
BIC	Sawa's Bayesian Information Criterion (Sawa'nın bayezyen bilgi ölçütü)
BTG	Büyük Toprak Grupları
BÜGEM	Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü
C-faktörü	Bitki örtüsü ve ürün yönetimi faktörü (Cover management factor)
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CI	Conservation International (Uluslararası Çevre Koruma Örgütü)
CICES	The Common International Classification of Ecosystem Services (Ekosistem Hizmetlerinin Uluslararası Ortak Sınıflandırması)
CO_2	Karbondioksit
CR	Critically endangered (IUCN'nin kritik kategorisinde yer alan türler)
CREAMS	Checimals Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems (Tarımsal sistemlerden kimyasal yüzeysel akış ve erozyon)
ÇEM	Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü
ÇNHRP	Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi
DASHRP	Doğu Anadolu Su Havzaları Rehabilitasyon Projesi
DEMİS	Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi

DKMP	Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü
DN	Digital Number (sayısal görüntülerdeki piksel değeri)
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EEA	European Environment Agency (Avrupa Çevre Ajansı)
EH	Ekosistem Hizmetleri
EN	Endangered (IUCN'nin tehlikede kategorisinde yer alan türler)
ETFOP	Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel (Çok Amaçlı) Planlama
EUROSEM	The European Soil Erosion Model (Avrupa Toprak Erozyonu Modeli)
FSC	Forest Stewardship Council (Orman Yönetim Birliği)
GEF	Global Environment Facility (Küresel Çevre Fonu)
GISCAME	Geographical Information System Cellular Automation Multi-criteria Evaluation (Coğrafi Bilgi Sistemi Hücresel Otomasyon ve Çok Değişkenli Değerlendirme Programı)
GPFI	General Protection Forest Index (Genel Koruma Ormanı İndisi)
GPS	Global Positioning System (Küresel Konum Belirleme Sistemi)
HGK	Harita Genel Komutanlığı
HKO	Hata kareler ortalaması
HKOK	Hata kareler ortalamasının karekökü
HKT	Hata kareler toplamı
ITTO	International Tropical Timber Organization (Uluslararası Tropik Ahşap Örgütü)
IUCN	International Union for Conservation of Nature (Dünya Doğa ve Doğal Kaynakları Koruma Birliği)
JICA	Japan International Cooperation Agency (Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı)
K-faktörü	Toprak aşınım faktörü (Soil erodibility factor)
K&G	Kriter ve Göstergeler
LPI	Landslide Protection Index (Heyelan Koruma İndisi)
LS-faktörü	Yamaç uzunluğu ve eğim faktörü (Slope length and steepness factor)
MFI	Modified Fournier Index (Modifiye edilmiş Fournier İndisi)
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MP	Milli Park
MS	Microsoft

MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index (Normalleştirilmiş Fark Vejetasyon İndisi)
NIR	Near-Infrared (Yakın kızılötesi)
NOAA	The National Oceanic and Atmospheric Administration (ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi)
OAP	Orman Amenajman Planı
ODOÜ	Odun Dışı Orman Ürünleri
OGM	Orman Genel Müdürlüğü
OİŞ	Orman İşletme Şefliği
OİM	Orman İşletme Müdürlüğü
OMGİ	Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu
OM	Organik Madde
OMH	Ortalama mutlak hata
OPA	Optimal Periyodik Alan
ORKÖY	Orman ve Köy İlişkileri Daire Başkanlığı
OT	Ağaçsız orman toprağı
P-faktörü	Toprak koruma önlemleri faktörü (Support practice factor)
PB	Planlama Birimi (OİŞ ile eş anlamlı)
PESERA	The Pan−European Soil Erosion Risk Assessment (Pan−Avrupa Toprak Erozyonu Risk Değerlendirmesi)
$R^2_{düz}$	Düzeltilmiş belirtme katsayısı
R-faktörü	Yağmur erozivite ve yüzeysel akış faktörü (Rainfall erosivity and runoff factor)
RFPI	Rockfall Protection Index (Kaya Yuvarlanması Koruma İndisi)
RMSE	Root Mean Square Error (Hata kareler ortalamasının karekökü)
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation (Yenilenmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği)
SBC	Schwarz's Bayesian Criterion (Schwarz'ın Bayezyen Ölçütü)
SHETRAN	Système Hydrologique Européen (Avrupa Hidrolojik Sistemi)
SİO	Sediment İletim Oranı
SOILOSS	Soil Loss Erosion Model (Toprak Kaybı Erozyon Modeli)
SOY	Sürdürülebilir Orman Yönetimi

SPSS	Statistical Package for the Social Sciences (Sosyal Bilimler için İstatistik Paket Programı)
SV	Sediment Verimi
SWAT	Soil Water Assessment Tool (Toprak Su Değerlendirme Aracı)
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TAGEM	Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü
TKPİ	Toprak Koruma Performansı İndisi
TRGM	Tarım Reformu Genel Müdürlüğü
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UA	Uzaktan Algılama
USDA	United States Department of Agriculture (Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı)
USLE	Universal Soil Loss Equation (Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği)
UTM	Universal Transverse Mercator (Uluslararası Ters Merkatör)
WEPP	Water Erosion Prediction Project (Su Erozyonu Tahmin Projesi)
WGS84	World Geographical System 1984 (Dünya Coğrafik Koordinat Sistemi 1984)
WWF	World Wildlife Fund (Dünya Doğayı Koruma Vakfı)

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

1992 yılında düzenlenen Rio Zirvesi ile doruk noktasına ulaşan uluslararası çevresel süreçler ve antlaşmalarla beraber, Sürdürülebilir Orman Yönetimi (SOY) kavramı şekillenmiş ve orman ekosistemlerinin gördüğü fonksiyonlar; ekonomik, ekolojik ve sosyokültürel olarak üç ana grup altında toplanmıştır (Resolution H1, 1993; OGM, 2017). SOY kavramının öneminin daha iyi anlaşıldığı ve toplumların orman ürünleri ve hizmetlerine olan ihtiyaçlarının artıp çeşitlendiği modern dünyada ormanların ekolojik ve sosyokültürel fonksiyonları gün geçtikçe daha fazla önem kazanmaktadır. Bu nedenle doğal kaynak yöneticileri ormandan sağlanan somut çıktılardan (tomruk, çam fıstığı, av hayvanları vd.) ziyade orman ekosistemi içinde kendiliğinden gelişen ekolojik süreçler sonucunda oluşan faydalara (iklim düzenleme, erozyonu önleme, hidrolojik döngüler vd.) odaklanmaya başlamışlardır. Diğer bir ifadeyle, orman ekosistemlerini odun deposu olarak gören anlayış terk edilmiş ve orman ürünleri üretimi eksenli planlama yaklaşımlarının yerini ekosistem eksenli çok amaçlı planlama sistemleri almıştır (Asan ve Özdemir, 2005; Çolak ve ark., 2010; Başkent, 2018). Bu sistemler genel itibariyle ormanı bir bütün olarak ele alan, orman ürünleri üretiminin olduğu kadar ormanın koruyucu ve düzenleyici hizmetlerinin de sürdürülebilirliğini sağlayan, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Uzaktan Algılama (UA) ve matematiksel modellemeye dayalı karar destek sistemleri gibi teknolojileri planlama sürecine dahil eden modern planlama yaklaşımlarıdır (Baskent ve ark., 2008; Bettinger ve ark., 2009; Asan, 2017; Başkent, 2018). Türkiye'de "Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Planlama (ETFOP)" ya da "Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama (ETÇAP)" olarak anılan bu yaklaşım resmi olarak benimsenmiş ve ilgili mevzuatta yerini almıştır (OGM, 2008; OGM, 2017). Ancak ETFOP'un gerçek anlamda uygulamaya aktarılabilmesi için; ormanın odun üretimi dışında kalan ekolojik ve sosyokültürel fonksiyonlarının da sayısallaştırılması, bunlara ait performans göstergelerinin belirlenmesi ve bu göstergelerin çeşitli orman kuruluşlarıyla (meşcere tipleri) ilişkilerinin istatistiksel olarak ortaya konması gerekmektedir.

Ormanların en önemli ekolojik ve sosyokültürel fonksiyonlarının başında erozyonu önleme ve hidrolojik fonksiyonlar gelmektedir (Kantarcı, 1993; Forest Europe, 2011; Köse, 2017; Özdemir ve ark., 2020). Bu fonksiyonlar birbirleriyle yüksek etkileşim içinde olup (Köse, 2017), dünyadaki çevresel bozunum süreçleriyle de doğrudan ilişkilidir. Nitekim erozyon nedeniyle yeryüzünde her yıl yaklaşık 75 milyar ton verimli toprak kaybı yaşanmaktadır (Pimentel ve Kounang, 1998; FAO, 2017). Bu boyuttaki toprak taşınmaları temiz su kaynaklarında sedimentasyona neden olarak onları kullanılamaz hale getirmektedir (Carpenter ve ark. 1998; Tufekcioglu ve ark., 2012; Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016). Zincirleme yaşanan bu süreçler sonunda içme ve kullanma suyuna erişimde güçlük, tarımsal üretimde düşüş, arazi tahribatı, sel, taşkın, heyelan ve çölleşme gibi çok geniş bir nüfusu etkileyen ciddi çevresel problemler oluşmaktadır (Cerdan ve ark., 2010; Buttafuoco ve ark., 2012). Bu tip problemler yüzünden dünya çapında 1,2 milyar insan olumsuz etkilenmiş, 135 milyon insan ise kendi yaşam alanlarını terk etmek zorunda kalmıştır (UEP, 2015; Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016).

Erozyon ile gerçekleşen toprak kaybı, dünyada olduğu kadar Türkiye'de de büyük çevresel problemler oluşturmaktadır. Yüzölçümünün yaklaşık %80'inde çeşitli tip ve şiddetlerde toprak erozyonu yaşandığı (Kantarcı, 1993; Çolak ve ark., 2010) için kimi kaynaklarda Türkiye bir "erozyon müzesi" ya da "erozyon albümü" olarak adlandırılmaktadır (Günay, 2008; Çolak ve ark., 2010). Bu kadar geniş alanlarda meydana gelen devasa toprak kayıplarının, tüm Avrupa kıtasındaki toplam toprak kaybı miktarından 9 kat daha fazla olduğu tahmin edilmektedir (Balcı ve ark., 1993). Her ne kadar son yıllarda ülkemizde meydana gelen toprak kaybı miktarlarının erozyonla mücadele çalışmaları neticesinde azaltıldığı söylense de, yapılan son çalışmalar Türkiye'de hala her yıl 642 milyon ton toprağın su erozyonu sonucunda harekete geçtiğini göstermiştir (Erpul ve ark., 2018). Bu miktarın 154 milyon tonluk kısmı ise akarsularla deniz, gölet ya da rezervuarlara taşınarak kullanılamaz hale gelmektedir (DSİ, 2013; Erpul ve ark., 2018). Dolayısıyla toprak erozyonu ülkemiz için hala en önemli çevresel problemlerden biridir.

20. yüzyılda orman vejetasyonunun toprağı erozyona karşı korumadaki etkin rolünün anlaşılmasıyla beraber bu alandaki araştırmalar ve erozyonla mücadele çalışmaları küresel ölçekte yoğunlaştırılmıştır. Nitekim orman vejetasyonu, aynı iklim koşullarına

sahip çıplak toprağa kıyasla; yüzeysel akışı 15−20 kat, toprak kaybını ise 350 kata kadar azaltabilmektedir (OGM, 2014a). Bu bağlamda Türkiye'de de orman teşkilatı 1950'li yıllardan itibaren ağaçlandırma, teras yapımı, mera ıslahı vd. erozyon kontrol faaliyetlerine hız vermiştir (Balcı ve ark., 1993; Çolak ve ark., 2010). Bu faaliyetler genel itibariyle Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı ÇEM (eski adıyla Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Genel Müdürlüğü−AGM) tarafından yürütülmektedir. Orman planlama açısından bakıldığında ise erozyonu önleme fonksiyonu gören orman; *"bizzat üzerinde bulunduğu yetişme ortamı ile etrafındaki alanları su ve rüzgar erozyonundan, toprak kaymalarından taş ve kaya yuvarlanmalarından koruyan, bu alanlardaki ölü örtünün, humusun ve toprağın taşınıp kaybolmasını önleyen ormandır"* (s. 186) şeklinde tanımlanmaktadır (Asan, 2017). Bu kapsamda Orman Genel Müdürlüğü (OGM); amenajman planları yenilenen işletme şefliklerindeki yüksek eğimli (%60−79) ve aktif erozyon gözlenen sahaları orman fonksiyon haritalarında toprak korumaya ayırarak bu sahaları daha ılımlı müdahalelerle (düşük bakım etası, uzun gençleştirme süreleri vb.) işletmektedir (OGM, 2017). Diğer taraftan Devlet Su İşleri (DSİ) baraj havzalarında, mülga Gıda ve Tarım Bakanlığı'na bağlı birimler ise tarım ve mera alanlarında erozyonla mücadele etmektedirler (Deniz, 2012). Sonuç olarak erozyonla mücadelede farklı kurum ve kuruluşlar tarafından sarf edilen büyük çaba ve maddi külfete rağmen Türkiye'deki orman kaynaklarının erozyonu önleme fonksiyonundan optimum düzeyde faydalanılamadığı anlaşılmaktadır (Balcı ve ark., 1993; OSİB, 2012). Bu olumsuzluğun teknik ve idari nedenleri; (i) yenilenen orman amenajman planlarında toprak korumaya ayrılacak orman sahalarının belirlenmesinde kullanılan ölçüt ve göstergelerin yetersizliği (Brandli ve Duc, 2009; Asan, 2013a; Blattert ve ark. 2017), (ii) "Toprak Koruma İşletme Sınıfları"nda ulaşılması hedeflenen optimal orman kuruluşlarının bilinmemesi (Bozali, 2020), (iii) buralarda uygulanacak işletme tekniğinin (özellikle silvikültürel reçeteler) belirsizliği, (iv) planlamacıların sezgisel olarak karar vermelerinden kaynaklanan sübjektif değerlendirmeler ve (v) erozyonla mücadele faaliyetlerinin farklı kuruluşlar tarafından koordinasyonsuz bir şekilde yürütülmesi (Çolak ve ark., 2010) olarak sıralanabilir. Tüm bu nedenlerin arka planında ise Türkiye'de toprak ilmi ve orman amenajmanı disiplinleri arasında 50 yılı aşkın süredir devam eden kopukluk (Balcı ve ark., 1993; Gökbulak, 2004; OSİB, 2012) nedeniyle ormanların erozyonu

önleme fonksiyonunun henüz sayısallaştırılmamış ve mevcut planlama sistemine (ETFOP) entegre edilememiş olması yatmaktadır.

Bu çalışmanın amacı; ormanların erozyonu önleme fonksiyonunun amenajman planlama sürecine entegrasyonu için kavramsal çerçevenin çizilmesi ve bu çerçevenin pilot bölge olarak seçilen Veliköy ve Olur Orman İşletme Şeflikleri'ndeki uygulamasının somut olarak gösterilmesidir. Bu amaçla; Veliköy ve Olur Planlama Birimleri'nin (i) yıllık potansiyel toprak kaybı ve erozyonu önleme fonksiyonlarını sayısallaştırarak haritalamak, (ii) bu haritaları altlık olarak kullanarak orman amenajman planlarında erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılması gereken alanları belirlemek, (iii) bunun için gerekli olan kriter ve göstergeleri geliştirmek, ve (iv) ormanda toprak kaybını en aza indirecek fonksiyonel amaç kuruluşlarını (optimal orman formu) ortaya koymak hedeflenmiştir. Böylelikle her meşcerenin toprak koruma işletme amacına olan katkılarının performans göstergeleriyle değerlendirilmesi suretiyle orman yapısı ve erozyonu önleme fonksiyonu arasındaki fonksiyonel ilişkiler kurulmuş olacaktır.

Hazırlanan bu tez çalışması Giriş, Materyal ve Yöntem, Bulgular ve Tartışma, Sonuç ve Öneriler olmak üzere dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde konuyla ilgili temel kavramlar tanıtılmış ve erozyon önleme fonksiyonunun Türkiye'deki mevcut amenajman planlarına nasıl yansıtılmaya çalışıldığı tarihsel süreciyle beraber incelenmiştir. Aynı zamanda söz konusu fonksiyonu planlama sürecine başarıyla yansıtan gelişmiş ülkelerin entegrasyon stratejileri de ele alınmıştır. İkinci bölümde pilot bölge olarak seçilen çalışma alanları tanıtılmış, ülke koşullarına uygun bir entegrasyon stratejisinin kavramsal çerçevesi ayrıntılı olarak çizilmiş ve kullanılan yöntemler hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde Veliköy ve Olur Planlama Birimleri'nde uygulamaya geçirilen bu strateji sonucunda elde edilen bulgulara yer verilmiş ve bunlar daha önceden yapılmış benzer çalışmaların bulguları ile karşılaştırılmıştır. Bu bölümde aynı zamanda diğer çalışmalardan çıkan bulgularla olan benzerlik ve uyuşmazlıkların nedenleri tartışılarak konuya bilimsel açıklık getirilmeye çalışılmıştır. Son bölümde ise, bulguların bir bütün olarak yorumlanması yardımıyla varılan ana sonuçlar sıralanmış ve çalışma boyunca karşılaşılan kısıtlamalara değinilmiştir. Bununla beraber söz konusu kısıtların gelecekte

aşılabilmesi için yürütülmesi gerekli olan yeni çalışmaların yönü hakkında değerlendirmeler yapılmış ve orman planlayıcılara bir takım önerilerde bulunulmuştur.

1.2. Erozyon Kavramı

1.2.1. Erozyonun Tanımı ve Çeşitleri

Genel anlamda erozyon; yer kabuğunu oluşturan kayaçların akarsu ve dereler başta olmak üzere çeşitli dış faktörlerle yıpratılıp yerinden koparılması ve başka yerlere taşınması olayıdır (Vatandaşlar, 2012; ÇEM, 2015a). Oluşumunda etkili olan faktörler açısından değerlendirildiğinde erozyonun iki çeşidi vardır. Bunlar; (i) jeolojik (doğal) erozyon ve (ii) hızlandırılmış (antropojenik) erozyondur (Görcelioğlu, 2003). Arazinin kendini yenilemesi ve gençleşmesine izin veren jeolojik erozyon çok yavaş bir şekilde gerçekleşir ve esasında olumlu bir süreçtir. Çünkü binlerce yıl sürebilen bu süreç içerisinde kaybolan toprak miktarı yeni oluşan topraklarla ikame edilebilmektedir. Ancak, insan faktörünün toprak−su−bitki arasındaki dengeyi bozması suretiyle bu sürece dahil olması nedeniyledir ki; jeolojik erozyon hızlanarak toprak kaybı miktarını tolere edilemeyecek derecede yükseltir ve jeolojik dengeyi bozar. Bu olaya hızlandırılmış veya antropojenik erozyon denir (Sarı, 1997; ÇEM, 2015a). Günümüzde erozyon denildiğinde insan etkisiyle hızlandırılmış toprak erozyonu anlaşılmakta ve bu olumsuz süreç yeryüzü için ciddi bir problem oluşturmaktadır. Çünkü hızlandırılmış erozyon ile kaybolan toprak miktarı, jeolojik süreç içerisinde kendiliğinden oluşan toprak miktarından 13 ila 40 kat daha fazladır (Pimentel ve Kounang, 1998). Dolayısıyla insan ömrü ölçeğiyle düşünüldüğünde toprak, yenilenebilir doğal kaynaklardan değildir (Bartz, 2015).

Toprağı aşındıran güçler açısından ele alındığında erozyonun altı farklı tipi olduğu görülür. Bunlar; (i) su erozyonu, (ii) rüzgar erozyonu, (iii) yerçekimi erozyonu, (iv) buzul erozyonu, (v) dalga erozyonu ve (vi) çığ erozyonudur (Kirtiş, 2014; ÇEM, 2015a). Dünya üzerinde en yaygın ve en tehlikeli erozyon tipi su erozyonudur. Ülkemizde de bu durum benzer şekilde yaşanmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada suyun etkisiyle meydana gelen toprak erozyonu üzerinde durulmuştur.

Suyla meydana gelen toprak erozyonu; özellikle eğimli arazilerde bitki örtüsünün zayıflaması veya tamamen ortadan kalkması ile yağmur damlalarının çıplak toprağa direkt çarparak darbe etkisi yaratması ile başlar. Daha sonra yerinden kopan ve agrega yapısı bozulan (parçalanan) üst toprak, yüzeysel akışa geçen yağmur sularıyla beraber sürüklenerek yamaç aşağı taşınır. Yüzeysel akışa geçen sular aşağılara indikçe diğer yüzeysel akış sularıyla birleşerek daha da güçlenir ve taşıma kuvvetleri artar. Böylelikle taşıdıkları toprak ve taş, kaya gibi büyük malzemelerin miktarı da çoğalır. Bu şekilde derelere ya da baraj rezervuarlarına kadar ulaşabilen materyaller buralarda birikerek sedimentasyona ve hatta sel ve taşkınlara yol açabilirler. Bu olaylar suyun kalitesini düşürdüğü gibi baraj ve yapay göletlerin kullanım ömürlerini de önemli ölçüde kısaltarak ciddi ekonomik kayıplara neden olurlar (Özsoy, 2007; Tufekcioglu ve ark., 2012; Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016). Ancak su erozyonu en büyük zararı verimli arazilere verir. Nitekim erozyon nedeniyle dünyadaki tarım alanlarının yaklaşık %70'i verimliliklerini kaybetmiş; toplam karasal alanların ise neredeyse %30'u çölleşme tehlikesiyle karşı karşıya kalmıştır (Sarı, 1997; Vatandaşlar, 2015). Özellikle verimli üst toprağın kaybedilmesi kök gelişim derinliğini, bitki besin elementlerini ve su depolanmasını azaltarak tarımsal üretimi kısıtlar. Bu nedenlerledir ki, gelecekte dünyadaki gıda güvenliği riske girebilir (Petter, 1992). Bu yüzden erozyonla mücadele ederek toprak kaybını tolere edilebilir limitler içerisinde tutmak önemlidir. Bunun için erozyona neden olan faktörlerin, bunların birbirleriyle olan etkileşimlerinin ve diğer erozyon süreçlerinin iyi kavranması gerekmektedir.

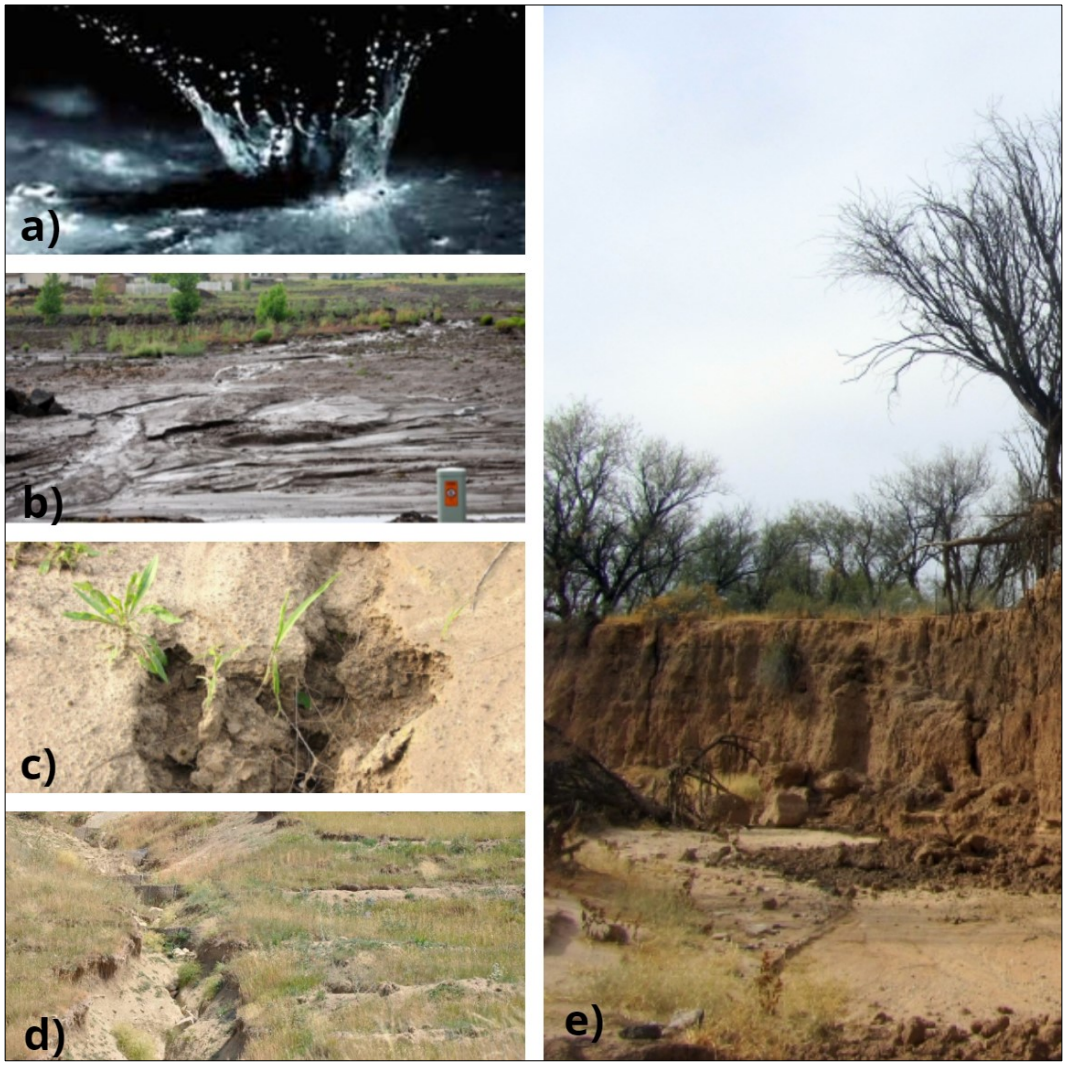
Su erozyonuna neden olan beş faktör mevcuttur. Bunlar; (i) iklim, (ii) toprak, (iii) topografya, (iv) vejetasyon ve (v) insandır (Bower, 1960; Ekinci, 2005). *İklim faktörü;* su erozyonunun oluşumuna katkı sağlayan oldukça dinamik bir faktördür. Özellikle yıllık toplam ve günlük maksimum yağış miktarları ile bölgenin genel yağış rejimi toprak aşınımı üzerinde oldukça etkili olan göstergelerdendir. Nemli ve çok nemli bölgelerde aşınımın daha fazla olması beklenir (Şengönül ve Şahin, 2017). *Toprak faktörü:* toprak agregalarının dağılması ve taşınması ile toprağı oluşturan anakaya tipleri toprağın erozyona duyarlılığını belirleyen en önemli parametrelerdendir. Özellikle granit, kuvarslı diyorit, genç sedimentler, siyenit, kumlu−killi kuaterner depoları, asit volkanik kayaçlar, trakit, volkanik tüfler, toz ve kum taşları, neojen tozu ve marn kayaçlarından oluşan toprakların erozyona daha duyarlı oldukları bilinir. Bu

kayaçlardan oluşmuş kumlu tekstürdeki topraklar erozyon açısından çok risklidir. Balçıklı ve killi topraklar ise sırasıyla orta ve az erozyon riskine sahiptirler (OGM, 2017). *Topografya faktörü:* eğim, rölyef ve yamaç uzunluğu topografik yapının erozyon süreçleriyle ilgili parametreleridir. Bunlardan en önemlisi eğim olup eğim değeri arttıkça erozyon şiddeti de artar (Şengönül ve Şahin, 2017). *Vejetasyon faktörü;* toprağı doğrudan koruyarak ve onun oluşumuna katkı sağlayarak hızlandırılmış erozyon süreçlerini yavaşlatır. Vejetasyonun birim alandaki birey sayısı, yaşı, sağlık durumu ve tabakalılığı erozyon üzerinde etkili parametrelerdendir. Genel olarak vejetasyon ne kadar sık ve sağlıklı ise erozyonun şiddeti o kadar düşer (Morgan, 2005). *İnsan faktörü:* bu faktörün erozyon üzerindeki etkisi iki türlü olabilir. İnsanoğlu teras, ağaçlandırma vd. faaliyetler ile erozyonun şiddetini azaltabildiği gibi, yanlış arazi kullanımı, aşırı otlatma gibi faaliyetler sonucunda erozyon şiddetini arttırabilir.

Su erozyonu sonucunda taşınan toprak miktarı, yukarıda sayılan faktörlerin farklı oranlardaki etkileri yanı sıra birbirleriyle olan dinamik etkileşimleri sonucunda belirlenmektedir. Dolayısıyla belirli büyüklükteki bir arazi parçası üzerindeki erozyon şiddeti arazinin tümünde aynı olmamakta, bu faktörlere bağlı olarak oldukça heterojen bir yapı sergileyebilmektedir (Ekinci, 2005). Nitekim bu faktörler aynı zamanda birçok erozyon tahmin modelinin de temelini oluşturmakta ve erozyon modelleme çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadırlar (bkz. Bölüm 1.2.4). Bunlardan iklim, toprak ve topografya insanoğlu tarafından kısa süre içerisinde kolaylıkla değiştirilememekte, diğer bir ifadeyle kontrol edilememektedir. Teras yapımı, ağaçlandırma, eşyükselti tarımı gibi toprak koruma önlemlerini içerebilen insan faktörü ile erozyon kontrol altında tutulabilmekte ancak bu faaliyetler oldukça masraflı olabilmektedir. Diğer taraftan vejetasyon faktörü ise uygun yönetim teknikleri ve müdahalelerle (amenajman ve silvikültür) rahatlıkla kontrol edilebilmektedir. Örneğin; geniş alanlarda tıraşlama kesim yönteminden vazgeçilerek buradaki toprak kaybı miktarı önemli ölçüde azaltılabilir. Bu nedenledir ki su erozyonuna neden olan faktörler arasında vejetasyon, üzerinde en çok durulması gereken kilit faktör olarak kabul edilmektedir (Renard ve ark., 2011; Vatandaşlar ve Yavuz, 2017).

Su erozyonu toprağı aşındırıp taşıma süreçleri açısından ele alındığında beş alt gruba ayrılabilir. Bunlar; (i) damla, (ii) yüzey (tabaka, parmaklar arası), (iii) oluk (parmak),

(iv) oyuntu (yarıntı) ve (v) kanal (kıyı, mecra, taban) erozyon tipleridir (Kirtiş, 2014; Şekil 1).



Şekil 1. Erozyon çeşitleri; damla (a), yüzey (b), oluk (c), oyuntu (d) ve kanal (e) erozyonu (URL-1, 2015).

Damla erozyonu; sağanak yağışlar esnasında yağmur damlalarının bitki örtüsü bulunmayan ya da oldukça seyrek olan toprakların yüzeyine şiddetli bir biçimde çarpması sonucunda oluşan erozyon tipidir. Şekil 1a'da görüldüğü gibi yerinden kopan toprak tanecikleri daha sonra yüzeysel akışlar ile eğim aşağı taşınmaya başlayarak yüzey erozyonunu oluştururlar. *Yüzey erozyonu;* genellikle pürüzsüz arazilerde ya da düz alanlarda, yani; yüzeysel akışın çizgi ya da derecikler halinde yoğunlaşamadığı yerlerde meydana gelir (Uzunsoy ve Görcelioğlu, 1985). Bu erozyon tipi, arazi yüzeyinin tümüne yayıldığı ve toprak partikülleri suda asılı ya da eriyik halde taşındığı için çoğu zaman gözle farkedilemez. Bu nedenle, yüzey erozyonu çoğu zaman

önemsenmeyen fakat oldukça sinsi bir süreçtir. Bu tip erozyonun geçirimsiz tabaka üzerinde bulunan sığ topraklar ile ince tekstürlü ve organik madde yönünden fakir topraklarda daha da şiddetli olduğu belirtilmektedir (ÇEM, 2015a). *Oluk erozyonu ise;* toprak yüzeyinin yüzeysel akış sularının yamaç boyunca oluşturduğu çizgilerle oyulması sonucu oluşan erozyondur. Bu ince olukların derinliği 1−2 cm'den başlayarak 10−12 cm'e kadar çıkabilir (OGM, 2017). Oluk erozyonu, oyuntu erozyonunun ilk aşamasıdır. Şayet bu olukların derinliği daha da artar ve genişlerse o zaman oyuntudan bahsedilir. Oluğun genişleyerek oluşturduğu kanala oyuntu denilebilmesi için 45−50 cm eninde ve 25−30 cm derinliğinde olması gereklidir (OGM, 2017). Söz konusu oyuntularda suyun kinetik enerjisi ile toprak taşınması olayına ise *oyuntu erozyonu* denir. Bu erozyon tipi genellikle kaba tekstürlü, gevşek yapıdaki ve sığ topraklara sahip eğimli arazilerde şiddetli yağışlar sonrası meydana gelir. Oyuntu erozyonu sel ve taşkın olaylarının da başlıca nedenleri arasında sayılmaktadır. Nitekim, oyuntunun boyutu 100 cm civarına ulaşırsa yarıntı, 100−300 cm arasındaysa sel dereciği ve 300 cm'i geçtiğinde sel deresi adını alır (ÇEM, 2015a). *Kanal (kıyı) erozyonu ise*; akarsu ve derelerin kendi yataklarını ya da kenarlarını oyması sonucunda meydana gelen erozyon tipidir. Bu oyma ve aşındırma süreci akarsuyun eğimiyle doğrudan ilişkilidir. Örneğin; eğimin yüksek olduğu yerlerde taban oyulması görülürken, eğimin daha düşük olduğu yerlerde ise kıyı oyulmaları yaygındır. Kanal erozyonu sonucunda dere kenarında yer alan tarım arazileri daralabilmekte, akarsu yatağında bulunan evler zarar görebilmekte ve ani şev göçmeleri meydana gelebilmektedir (Şekil 1e).

1.2.2. Dünyada Toprak Erozyonu

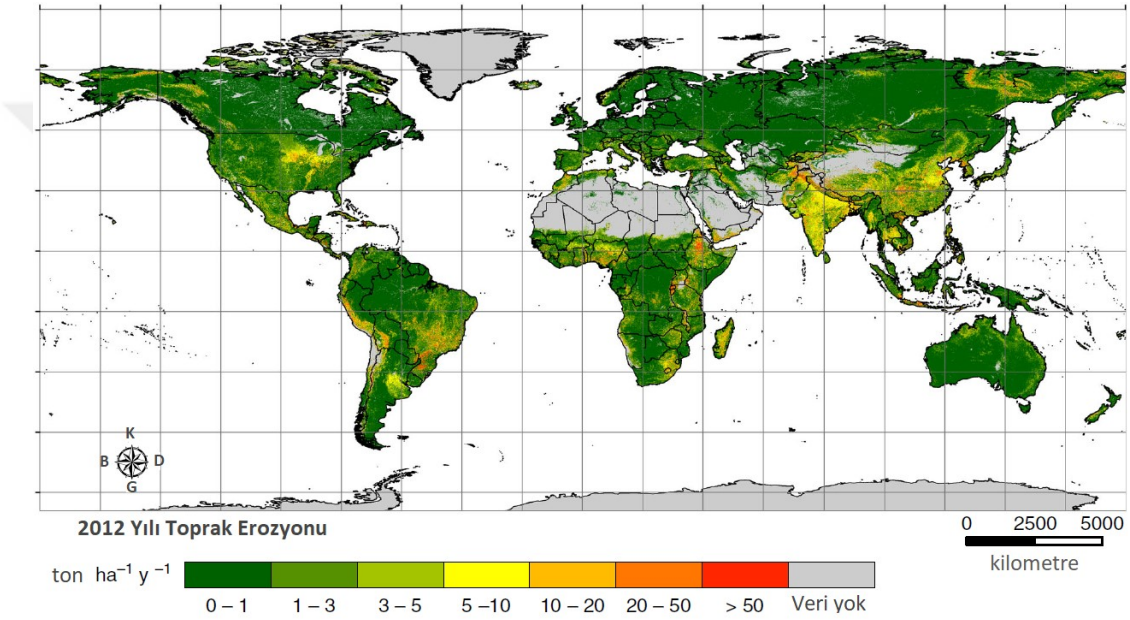
Toprak erozyonu, yeryüzü için önemli bir problem teşkil etmektedir. Birçok araştırmacıya göre erozyon sonucu meydana gelen arazi tahribatları dünyada hızla yükselen nüfus artışından sonra en büyük ikinci küresel çevre problemi olarak tanımlamaktadır (Pimentel, 2006; Pradhan ve ark., 2011; Nikkami, 2012). Çünkü söz konusu tahribatlar doğal ekosistemlere zincirleme zararlar verir. Örneğin; hızlı yüzeysel akış yüzünden toprağın su tutma kapasitesi ve organik madde içeriği düşer. Bu durum bitki besin elementleri ve toprak biotasını olumsuz etkiler. Sonuç olarak ekosistemlerdeki vejetasyon ve diğer canlıların verimliliği azalır, su kalitesi bozulur ve karbon depolama kapasitesi düşer. Aynı zamanda biyoçeşitlilikteki fakirleşme de

bunları takip eder. İnsanlar yaşamak için toprak, su ve biyolojik kaynaklara bağımlı olduğundan zincirleme oluşan tüm bu süreçler insanlığın gıda güvenliğini tehlikeye sokmaktadır. Dolayısıyla, erozyon problemi göz ardı edildiği takdirde insanoğlunun hayat kalitesinin düşeceği ve gelecek kuşaklar için yeryüzündeki yaşamın riske gireceği açıktır (Pimentel ve Kounang, 1998).

Dünyada erozyonla meydana gelen toprak kaybı miktarları maalesef giderek artan bir trend izlemektedir. Yalnızca 2001 ve 2013 yılları arasında kaybolan toprak miktarındaki artış %2,5 oranındadır (Borrelli ve ark., 2017a). Ormansızlaşma, aşırı otlatma, arazi kullanımındaki değişim, toprak işleme ve diğer uygunsuz tarımsal faaliyetler bu süreci hızlandıran en önemli etmenlerdendir (Nearing, 2013; Walling, 2013). Güncel küresel problemlerden iklim değişiminin de gelecekte erozyon üzerine çoklu etkileri olacağı tahmin edilmektedir. Hem olumlu hem de olumsuz yönde olabilecek bu etkiler henüz tam olarak kestirilememektedir (Borrelli ve ark., 2017a). Bu nedenle, son dönemde yapılan birçok araştırma yeryüzünün tamamından kaybolan toprak miktarı, erozyonun konumsal dağılımı ve bu sürecin gelecek senaryoları üzerine yoğunlaşmıştır.

Günümüzde tüm dünyadaki toplam toprak kaybının yılda 75 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir (Pimentel ve Kounang, 1998; FAO, 2017). Bu miktarın 24 milyar tonu arazilerin yanlış kullanımı yüzünden kaybedilen verimli topraklardır (Bartz, 2015). Küresel ölçekte yapılan en son çalışmada, Borrelli ve ark. (2017a) dünyadaki erozyonun konumsal dağılışını RUSLE ile modellemiş ve toprak kaybının yıllık ortalama 35,9 milyar ton olduğunu raporlamıştır. Bu miktar birim alanda yıllık 2,9 t ha^{-1} toprak kaybına eşittir. Ancak araştırmacılar RUSLE modeliyle tahmin edilen bu miktarın oyuntu ve kanal erozyonunu içermediğini belirtmişlerdir. Çalışmada dünya yüzölçümünün %71,9, %12,7, %4,2, %5,1 ve %6,1'inde sırasıyla çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek şiddetlerde erozyon yaşandığı sonucuna ulaşılmıştır. Özellikle çok yüksek şiddette erozyon yaşanan alanlardaki toprak kaybının tolere edilebilir limitlerin oldukça üzerinde olduğuna dikkat çekilmiştir. Söz konusu alanlar özellikle Sahraaltı Afrikası, Güney Amerika ve Güneydoğu Asya'da yoğunlaşmıştır (Şekil 2). Genellikle yarı kurak ya da kurak iklimde bulunan bu bölgelerin aynı zamanda az gelişmiş ekonomiye sahip ülkelere ev sahipliği yapması ayrıca manidardır. Bu yönüyle erozyonun sosyoekonomik etkileri bir kez daha gün yüzüne çıkarılmıştır.

Nitekim, arazi bozulumu ve çölleşme süreçleri dünyada 1,2 milyar insanı direkt etkilemektedir. Bu süreçler nedeniyle, 2015 yılına kadar toplam 135 milyon insan göç etmek zorunda kalmıştır (UEP, 2015; Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016). Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından yapılan tahminlere göre; erozyon ve çölleşmeyle mücadele edebilmek için küresel ölçekte harcanması gereken kaynak yıllık yaklaşık 42 milyar Amerikan dolarıdır (URL-2, 2011; Vatandaşlar, 2012). Yalnızca erozyon nedeniyle yaşanan ekonomik zararın ise yıllık 400 milyar Amerikan doları civarında olduğu bildirilmektedir (FAO, 2017).



Şekil 2. Dünya toprak erozyonu haritası (Borrelli ve ark. 2017a'dan değiştirilerek)

Bu bölümde açıklanmaya çalışılan erozyon kaynaklı ekonomik, ekolojik ve sosyal kayıpların azaltılması için toprak kaybı miktarının nicel olarak tahmini ve farklı ölçeklerde haritalanması gerekmektedir. Böylece erozyonla mücadele çalışmalarına şiddetli erozyon yaşanan yerlerde öncelik verilebilir. Buna ilaveten, farklı dönemlerde yapılacak tahminleme çalışmalarıyla erozyon şiddetindeki zamansal değişimin izlenmesi ve değerlendirilmesi de mümkündür. Bu yüzden erozyon tahmin modelleri, tüm dünyada toprak kayıplarının kontrol altında tutularak ekolojik dengenin yeniden kurulması ve erozyonun olumsuz etkilerinin giderilmesi yönünden günümüzde vazgeçilmez araçlardandır.

1.2.3. Türkiye'de Toprak Erozyonu

Toprak erozyonu, dünyada olduğu gibi Türkiye için de önemli bir problemdir. Anadolunun yüksek ve engebeli topografyası, heterojen iklim özellikleri ve binlerce yıldır devam eden tarımsal faaliyetler, toprak yapısını fakirleştirmiş ve ülkemizi erozyona karşı oldukça hassas hale getirmiştir. Türkiye'nin ortalama yükseltisi 1132 m olup, bu rakam Avrupa kıtası ortalamasından 3,5 kat daha fazladır (Erpul ve ark., 2018). Buna ilaveten, ülke yüzölçümünün yarıdan fazlası dağlarla kaplıdır. Böylesine dağlık bir arazi yapısına sahip olan Türkiye'deki yağışların düzensizliği, şiddeti ve uzunluğu da diğer olumsuz faktörler olarak eklendiğinde, ülke topraklarının yaklaşık %80'inde çeşitli şiddetlerde erozyon görülmektedir (Çepel, 2007). Tarım alanlarının %59'u, meraların %64'ü, ormanların %54'ü erozyona maruz kalmaktadır (UEP, 2006; AGM, 2007; Deniz, 2012; OGM, 2014a). Orman varlığımızın alansal olarak %42,5'inin boşluklu kapalı olduğu (OGM, 2020) düşünüldüğünde, buralardaki erozyonun daha da tehlikeli olacağı değerlendirilebilir. Sonuç olarak bazı kaynaklar Türkiye'de yılda yaklaşık 500 milyon ton toprak kaybı yaşandığını (Çepel, 2007; OGM, 2014a; TEMA, 2015), bazıları ise başarılı erozyon kontrol faaliyetleri sonucunda bu miktarın 168 milyon tona indiğini (EİEİ, 2012; Doğan, 2015; ÇEM, 2015a) bildirmektedirler. Ancak Türkiye Erozyon Atlası için en son yapılan kapsamlı modelleme çalışmaları ülkemizde her yıl 642 milyon ton toprağın erozyon sonucunda harekete geçtiğini (Erpul ve ark., 2018), bu miktarın 154 milyon tonluk kısmının ise akarsularda askıda sediment olarak taşınarak deniz ya da baraj rezervuarlarına ulaştığını göstermiştir (DSİ, 2013; Erpul ve ark., 2018).

Toprak kaybının ülke sathındaki konumsal dağılışı Türkiye Erozyon Atlası (Erpul ve ark., 2018) üzerinden incelendiğinde, en riskli bölgelerin genellikle ülkenin dağlık alanlarında toplandığı görülmektedir (Şekil 3). Özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yer alan sıradağların güney yamaçları, Toros Dağları'nın zirveleri, Amanos bölgesi ve Güneydoğu Anadolu'nun çıplak yamaçlarındaki toprak erozyonunun çok şiddetli olduğu anlaşılmaktadır. Bu kesimlerdeki yıllık toprak hareketi birim alanda (1 ha) 20 tonu geçmektedir. İç Anadolu Bölgesi ise düzlük alanları ve düşük yağış miktarı nedeniyle hafif ve orta şiddetlerde erozyona maruz kalmaktadır. En hafif şiddetteki erozyon ise Sakarya Havzası'nda yaşanmaktadır. Bu havzadaki yıllık toprak hareketi birim alanda ort. 4,2 tondur. Erozyon değerleri arazi kullanım sınıfları itibariyle

değerlendirildiğinde; toplamda en fazla toprak hareketi yılda 344,6 milyon ton ile mera alanlarındadır. Meraları; tarım, orman ve diğer arazi kullanımları izlemektedir. Türkiye'deki orman alanlarında meydana gelen toplam toprak hareketliliği yılda 26,8 milyon ton kadardır. Erozyona neden olan faktörlerin bağımsız etkileri değerlendirildiğinde ise; topografya, bitki örtüsü, yağış ve toprak faktörlerinin ülkedeki toplam toprak kaybına sırasıyla %47,55, %34,82, %14,26 ve %3,36 oranlarında etkili oldukları tespit edilmiştir. Sonuç olarak Erpul ve ark. (2018) tarafından üretilen Erozyon Atlası'na göre; Türkiye yüzölçümünün %60,28'inde çok hafif, %19,13'ünde hafif, %7,93'ünde orta, %5,97'sinde şiddetli ve %6,70'inde ise çok şiddetli erozyon görülmektedir.



Şekil 3. Türkiye su erozyonu haritası (Erpul ve ark., 2018)

Ülkemiz için 100 milyon tonlarla ifade edilebilen verimli üst toprak kayıpları azınsanamayacak bir miktardır. Nitekim, bu miktarın tüm Avrupa kıtasındaki toprak kaybı miktarının 9 katına ulaştığı tahmin edilmektedir (Balcı ve ark., 1993). Anadolu topraklarının neredeyse tamamında farklı şiddetlerde de olsa her çeşit erozyon (yüzey, oyuntu, kanal, rüzgar vd.) görülebilmektedir (Kantarcı, 1993; Çolak ve ark., 2010). Bu durum önemsenmelidir çünkü yalnızca 1 cm kalınlığındaki toprak katmanının oluşabilmesi için 100 ile 1000 yıla gereksinim vardır (Bartz, 2015; Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016). Dolayısıyla erozyon yüzünden yaşanan bu kadar büyük miktarlardaki kayıp ve taşınımlar toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısında geri dönüşü

mümkün olmayan değişimlere neden olur (Çolak ve ark., 2010). Topraktaki bu olumsuz değişim ise orman, mera ve su kütleleri gibi önemli doğal kaynaklarımıza olumsuz etki etmekte ve ülkedeki biyoçeşitliliğin azalmasına sebebiyet vermektedir. Kantarcı (1993), Türkiye'deki en önemli çevre probleminin toprak erozyonu olduğuna on yıllar önce dikkat çekmiştir. Geçen süre zarfında yapılan diğer çalışmalar da aynı problemin güncelliğini koruduğunu göstermektedir (Çepel, 2007; Günay, 2008; Doğan, 2015; Erpul ve ark., 2018; Yavuz ve Tufekcioglu, 2019; Vatandaşlar ve ark., 2020). Bu yüzden teraslama, canlı çit, taş kordon, ağaçlandırma, rehabilitasyon, eş yükselti tarımı gibi birçok erozyonla mücadele tekniğinin ülkemizde doğru bir şekilde uygulanması ve bu uygulamaların periyodik olarak izlenip değerlendirilmesi hayati öneme sahiptir. Neyse ki, Türkiye erozyonla mücadele konusunda önemli bir tarihsel birikime ve ilgili aktif kuruluşlara sahiptir.

1.2.3.1. Türkiye'de Erozyonla Mücadelenin Tarihçesi ve Sorumlu Kuruluşlar

Erozyon kontrolü; su veya rüzgarın etkisiyle taşınan topraklar sonucunda zarar gören alanlarda çeşitli önlemlerin alınarak istenmeyen sonuçların önüne geçmek için yapılan çalışmalardır (TOD, 2019). Türkiye'de erozyon kontrol çalışmaları ilk kez 1955 yılında su erozyonunu önlemek amacıyla Tokat'ın Behzat Dere Havzası'nda başlamıştır (Balcı ve ark., 1993; Çolak ve ark., 2010). 1957 yılında ise OGM bünyesinde "Toprak Muhafaza ve Mera Islahı Şubesi" kurularak bu çalışmalar kurumsal çerçeveye oturtulmuştur. Bu şube altında 17 farklı bölgede "Toprak Muhafaza ve Mera Islahı Tatbikat Grup Müdürlükleri" bulunmakta idi. 1969 yılında Tarım Bakanlığı'nın onayıyla kurulan Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Genel Müdürlüğü (AGM), toprak koruma faaliyetlerinden sorumlu kurum ilan edilmiş ve böylece çalışmalar hız kazanmıştır (Deniz, 2012). 1981 yılında ise Orman Bakanlığı'nın Tarım Bakanlığı'na devri ile AGM'nin tüm görevleri OGM'ye devredilmiştir. Daha sonra Orman Bakanlığı içerisinde ana hizmet birimi olarak yeniden yer alan AGM'nin görevleri; *"bozuk ve verimli orman alanlarında ağaçlandırma, erozyon kontrolü, orman içi mera ıslahı, sosyal ormancılık faaliyetlerine ait plan ve projeler, bu projelerin gerektirdiği her türlü çalışmayı yapma ve yaptırmaktır"* (Md. 11) şeklinde tanımlanmıştır (4856 Sayılı Kanun, 2003). 2011 yılında ise Çevre ve Orman Bakanlığı'nın Orman ve Su İşleri Bakanlığı'na dönüştürülmesiyle beraber AGM kapatılarak, bazı görevleri yeni kurulan Çölleşme ve

Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü'ne (ÇEM) devredilmiştir. Günümüzde ÇEM, Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı bir genel müdürlüktür. ÇEM'in yanı sıra Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), OGM bünyesinde bulunan Toprak Muhafaza ve Havza Islahı Daire Başkanlığı'na bağlı Toprak Muhafaza ve Erozyon Kontrolü Şube Müdürlüğü, Orman ve Köy İlişkileri Daire Başkanlığı (ORKÖY) da erozyonla ilgili farklı faaliyetler yürütmektedirler. Orman sınırları içerisinde yer alan veya orman rejimine dahil edilmesi gereken yerlerde erozyon ve sel kontrolü, rusubat ve taşkın önleme çalışmalarının projelendirilmesi ÇEM tarafından; erozyonla mücadele çalışmaları ise orman alanlarında OGM tarafından, baraj havzalarında DSİ tarafından, tarım ve meralarda ise Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından sürdürülmektedir. Ayrıca İl Özel İdareleri ve belediyeler de mücavir alanlarında benzer faaliyetler yürütebilmektedirler (Deniz, 2012). Özetle, Türkiye'de erozyonla mücadele çalışmalarına direkt veya dolaylı yoldan katkıda bulunan tüm kurum ve kuruluşlar aşağıda hiyerarşik olarak sıralanmaktadır (Deniz, 2012; ÇEM, 2016a);

- Tarım ve Orman Bakanlığı
  - Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (ÇEM)
  - Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ)
  - Orman Genel Müdürlüğü (OGM)
    - Orman ve Köy İlişkileri Dairesi Başkanlığı (ORKÖY)
    - Toprak Muhafaza ve Havza Islahı Daire Başkanlığı
      - Toprak Koruma ve Erozyon Kontrolü Şube Müdürlüğü
  - Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM)
    - Toprak ve Su Kaynakları Araştırmaları Dairesi Başkanlığı
  - Tarım Reformu Genel Müdürlüğü (TRGM)
  - Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü (BÜGEM)
  - Toprak Su ve Çölleşme ile Mücadele Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü
  - İl Tarım ve Orman Müdürlükleri
- İl Özel İdareleri
- Belediyeler

Görüldüğü gibi Türkiye'de erozyon kontrol çalışmaları çok sayıda icracı kurum tarafından sürdürülmekte ve bu durum işin organizasyon ve eşgüdümünü güçleştirmektedir. Genellikle birbirinden kopuk ve bağımsız şekilde hareket eden bu

kurumlar ile "entegre havza amenajmanı" eksenli bir planlama yaklaşımı maalesef çok zordur. Halbuki havza bazında entegre şekilde yapılmayan planlamaların, Türkiye'de başarıya ulaşma şansı düşüktür (Balcı ve ark., 1993; Köse, 2008). Daha yalın bir ifadeyle; ülkemizdeki toprak koruma faaliyetlerinden tam verim alınamamaktadır. Bu nedenle, özellikle yarı kurak bölgelerdeki erozyona duyarlı alanlar için yapılacak yeni orman amenajman planlarının bu kapsamda ele alınarak adı geçen kurumların ormanlık alanlarda yapacakları faaliyetleri de zaman−mekan düzenine oturtması beklenmelidir. Aksi halde, kurumlar arasındaki mevcut koordinasyonsuzluk (Gökbulak, 2004) hem orman kaynaklarımızdan elde edilecek ürünün kalite/kantitesine hem de kaybedilen toprak miktarına olumsuz olarak yansır. Diğer taraftan, yukarıda adı geçen ve benzer faaliyetler yürüten farklı kurumlar arasındaki söz konusu koordinasyon eksikliği yeni değildir. Balcı ve ark. (1993), söz konusu kurumların birbirinden bağımsız olduğu gerçeğini ve bu nedenle Türkiye'de havza amenajmanı esaslarına uygun tam bir uygulamanın sağlanamadığını 90'lı yıllarda belirtmiştir. Benzer şekilde, Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nın koordinatörlüğünde ilgili kurum ve kuruluşlarla beraber hazırlanan Erozyonla Mücadele Eylem Planı (2013−2017)'nda da bahsedilen eksikliğin giderilemediği ve kamu kaynaklarının bu yüzden verimli olarak kullanılamadığı açıkça belirtilmektedir (OSİB, 2012).

1.2.3.2. Türkiye'de Erozyonla Mücadele Faaliyetleri

Bir önceki bölümde anılan kamu kurumları tarafından Türkiye'de erozyonla mücadeleye katkı sunan çok çeşitli faaliyetler yürütülmüştür. Bu faaliyetleri genel olarak yedi grup altında toplamak mümkündür;

- Erozyon kontrolü
- Ağaçlandırma
- Rehabilitasyon
- Mera ıslahı
- Enerji ormanı tesisi
- Suni gençleştirme
- Özel ağaçlandırma

Yukarıda gruplandırılan faaliyetler ülkemizde 1946 yılından itibaren başlamış ve 2015 yılı sonuna kadar toplam 8272308 ha alanda gerçekleştirilmiştir (OSİB, 2012; ÇEM, 2016a). Faaliyetler son yıllarda ivme kazanarak daha da artmıştır. Nitekim, OGM'nin 2018 yılı faaliyet raporuna göre yalnızca 2015−2018 yılları arasında gerçekleşen ilgili faaliyetler toplamı 827733 ha'ı bulmuştur (OGM, 2019). Bu sayede Türkiye orman varlığı son 30 yılda alansal olarak %6, ağaç serveti ise %40 artmıştır. Birinci faaliyet grubu olan "erozyon kontrolü" dışındaki faaliyet tipleri erozyonla mücadeleye dolaylı katkı sağlamakta olup bu tez çalışmasının kapsamı dışında kalmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada yalnızca erozyon kontrolü faaliyetleri üzerinde durulmuştur.

Erozyonu kontrol altında tutmak ve toprak kaybını en aza indirmek için alınacak önlemler; idari, kültürel ve mekanik (teknik) önlemler olarak sınıflandırılır (OSİB, 2012). İdari önlemler denince akla aşırı ve usulsüz otlatmanın engellenmesi, arazi kullanımının doğru şekilde planlanması, kırsal kalkınma yoluyla yerel halkın hayat standartlarının yükseltilmesi gibi faaliyetler gelmektedir. Kültürel önlemler ise daha çok tohum serpme gibi yöntemlerle bitki örtüsünün tesisi ya da mevcut örtünün iyileştirilmesi çalışmalarını kapsar (TOD, 2019). Son olarak mekanik önlemler denildiğinde; yüzey erozyonunu azaltmak için teraslar, taş kordon, örme çit yanı sıra oyuntu erozyonunu azaltmak için inşa edilen kuru duvar eşik, harçlı ıslah sekileri ve çevirme hendekleri gibi mühendislik yapıları anlaşılmalıdır (OSİB, 2012). Bu yüzden mekanik önlemler sıklıkla teknik ya da mühendislik önlemleri olarak da anılır.

Türkiye'de 2015 yılına kadar yapılan erozyon kontrol çalışmaları toplam 1261053 ha alanda gerçekleştirilmiştir (ÇEM, 2016a). Bu miktara 2015−2018 yılları arasında gerçekleşen alanlar da eklendiğinde 1535916 ha'a ulaşılmaktadır (OGM, 2019). Bu değerin yalnızca 55425 ha'ı DSİ tarafından gerçekleştirilmiş olup geriye kalan büyük çoğunluğu OGM ya da ona bağlı birimler tarafından gerçekleştirilmektedir. Nitekim, *"toprak kaybının azaltılmasına yönelik erozyonla mücadele edilmesi (H2.5)"* OGM'nin stratejik amaçları kapsamında belirlenen hedeflerden biridir (OGM, 2019). Bu bağlamda, stratejik performans göstergesi olarak "toprak kaybı kontrol altına alınan alan büyüklüğü" seçilmiştir. Geçmişte Güneydoğu Anadolu Projesi, Keban Barajı Havza Amenajman Çalışmaları gibi entegre havza amenajmanı yaklaşımından uzak bir şekilde yürütülen çalışmalara rastlansa da (Gökbulak, 2004), son dönemlerdeki çalışmaların büyük bir kısmı Türkiye'nin farklı bölgelerinde

gerçekleştirilen entegre havza rehabilitasyon projeleri kapsamında yürütülmektedir. Bu kapsamda, sadece 2018 yılında yürütülen erozyon kontrolü faaliyetlerinin OGM'ye maliyeti 121 milyon 520 bin 476 TL olmuştur (OGM, 2019). Bahsedilen uygulama projelerinden bazıları aşağıda kısaca tanıtılmıştır.

Doğu Anadolu Su Havzaları Rehabilitasyon Projesi (1992−2001): Dünya Bankası tarafından finanse edilen Doğu Anadolu Su Havzaları Rehabilitasyon Projesi (DASHRP), Türkiye'de katılımcı yaklaşımı esas alan ilk büyük projedir. Bu kapsamda ilgili kamu kurumları, yerel halkla işbirliği içerisinde ve onların da fikirlerini alarak 85 mikrohavzanın memba kesimlerinde çalışmalar yürütmüştür. Bu çalışmalar; sürdürülebilir doğal kaynak yönetimi, rehabilitasyon, yerel halkın gelir düzeyinin arttırılması ve toprak koruma gibi çalışmalardır (Çolak ve ark., 2010). Proje bitiminde AGM tarafından 73156 ha toprak koruma amaçlı ağaçlandırma, 19882 ha mera ıslahı, 81 ha galeri ağaçlandırması, 2240 ha bozuk Meşe sahalarının rehabilitasyonu ve 1687 ha bozuk Sedir sahalarının rehabilitasyonu işi yapılmıştır. Yapılan tüm işler için 27 milyon doları dış kaynaklı olmak üzere toplam 43 milyon dolar harcanmıştır. Proje kapsamında ayrıca Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı'na bağlı kuruluşlar tarafından 1000 km'den fazla sulama kanalı, 1260 adet sulama havuzu, 2643 ha teras gibi tarımsal faaliyetler de yürütülmüştür (AGM, 2008).

Anadolu Su Havzaları Rehabilitasyon Projesi (2005−2012): Türkiye'nin en büyük nehirlerinden Kızılırmak ve Yeşilırmak havzalarında yürütülmüş olan Anadolu Su Havzaları Rehabilitasyon Projesi'nin DASHRP'den farkı; erozyon kontrol çalışmaları yanı sıra havzanın mansap kesimlerindeki tarımsal kirlilik ve su kirliliğini de azaltmayı hedeflemiş olmasıdır (AGM, 2008; Çolak ve ark., 2010). Amasya, Çorum, Samsun, Tokat, Sivas ve Kayseri şehirlerinde yürütülen projede dönemin Çevre ve Ormancılık Bakanlığı ile Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı ortak çalışmışlardır. Bu çalışmalar kapsamında bozulmuş doğal kaynakların rehabilitasyonu, yerel halka ek gelir sağlayıcı düzenlemeler, Avrupa Birliği standartlarına uyum için politika oluşturma ve kapasite arttırımı yanı sıra eğitim seminerleri de yapılmıştır. Bu seminerlerde tarımsal kirliliğin giderilmesi için çiftçilere kimyasal gübre ve pestisit yerine organik tarım tekniklerinin kullanımı öğretilmiştir (ÇEM, 2015b).

Yukarı Göksu, Gökdere Mikrohavzası Entegre Rehabilitasyon Projesi (2014−2017): Bu projenin amacı doğal kaynakların rehabilitasyonu ve sürdürülebilir kullanımı, barajların ömrünün uzatılması, yöredeki yaşam standartlarının yükseltilmesi ve doğal kaynaklar üzerindeki baskının azaltılmasıdır (ÇEM, 2015b). 2017 yılında sona eren dört yıllık projenin bütçesi yaklaşık 10 milyon TL'dir. Tamamı milli kaynaklardan sağlanan bütçeyle yürütülen ilk entegre havza yönetim projesi olan Yukarı Göksu, Gökdere Mikrohavzası Entegre Rehabilitasyon Projesi'ne ait bütçenin %69'u doğal kaynakların rehabilitasyonuna, %31'i ise yöre insanının refah düzeyini arttırıcı faaliyetlere ayrılmıştır. Proje faaliyetlerinden bazıları; ağaçlandırma ve meyvecilik için tarımsal teras, erozyon ve sel kontrolü, tarımsal altyapının iyileştirilmesi, bozuk ormanların rehabilitasyonu ve diğer örnek uygulamalardır (ÇEM, 2015b).

Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi (2012−2019): Çoruh Nehri Havzası, Türkiye'de birim alanda en çok erozyonun yaşandığı havzadır. Burada bir yılda yer değiştiren toprak miktarının hektarda ort. 26,09 ton olduğu tahmin edilmektedir (Erpul ve ark., 2018). Bu miktarı azaltabilmek ve bölgede kırsal kalkınmayı sağlamak için OGM'ye bağlı Toprak Muhafaza ve Havza Islahı Daire Başkanlığı ve Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) ortaklığında başlatılan ve 2019 yılında sona gelinen Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi (ÇNHRP)'nin diğer projelerden en önemli farkı izleme−değerlendirme çalışmalarına ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına özel önem vermesidir (Çolak ve ark., 2010; Vatandaşlar ve Yavuz, 2017). Proje kapsamında farklı kurumlardan uzman ve akademisyenlerle çalışılmakta ve havzada yaşanan erozyon miktarında meydana gelen değişim UA, CBS ve modelleme teknikleriyle periyodik olarak takip edilmektedir. Bu sayede gerçekleştirilen faaliyetlerin olumlu etkileri sayısal olarak ölçülebilmekte ve projenin etkinliği arttırılabilmektedir. ÇNHRP'nin sonunda yılda yaklaşık 80000 ton üst toprağın korunması ve toprak taşınmasının %80 oranında azaltılması amaçlanmıştır (ÇNHRP, 2013). Bu kapsamda yapılan faaliyetler; bozuk orman sahalarının iyileştirilmesi, erozyon kontrolü için teras, miks eşik, kuru taş duvar, galvaniz telli kafesler gibi mekanik önlemlerin alınması, ağaçlandırma çalışmaları, yöre halkının ormanlardan usulsüz yararlanmasını azaltmak için güneş enerjili ısıtma sistemlerinin dağıtımı, ısı verimi yüksek özel sobaların dağıtımı, köylülere arıcılık, damla sulama, odun dışı orman ürünleri gibi konularda eğitim verilmesi ve bu yönde maddi destek

sağlanması şeklindedir. Dolayısıyla proje sonrasında yalnızca toprak kaybının azaltılması ve doğal kaynakların korunmasına değil, kırsal kalkınmaya da önemli ölçüde katkılar sağlanacağı değerlendirilmektedir (ÇNHRP, 2013; Özevren ve Tekin, 2014, Vatandaşlar ve Yavuz, 2017).

Yukarıda sıralanan tüm bu projelerin genellikle havza bazında planlanan entegre çalışmalar halinde yürüdüğü görülmektedir. Bu çalışmalar sayesinde Türkiye'de 1982−2013 yılları arasında önlenen toprak kaybı miktarının (askıda sediment taşınımı) 121 milyon ton olduğu belirlenmiştir (DSİ, 2013). Doğan (2015), bu miktardaki toprak kütlesinin yerinde tutulması ile ulusal ekonomiye yaklaşık 1 milyar TL değerinde maddi kazanç temin edildiğini hesaplamıştır. Ancak söz konusu havzalar içerisinde yer alan orman ekosistemlerini oluşturan meşcerelerin toprak koruma amaçlı planlanıp işletildiği durumlarda erozyonla mücadele çalışmalarından daha fazla verim alınması mümkündür. Çünkü havzanın genellikle mansap kısmında yer alan yerleşim alanlarında yaşanan erozyon kaynaklı birçok problem (heyelan, sel, taşkın, akarsu kirliliği, rezervuarların sedimentle dolması vd.), esasında havzanın memba kısmında bulunan orman alanları ve bunların doğru yönetimiyle (amenajman) ilgilidir (Görcelioğlu, 2003; Gökbulak, 2004). Dolayısıyla erozyon açısından sorunlu alanlarda ormanların koruyucu fonksiyonlarını önceleyen bir planlama yaklaşımı ve nihayetinde hazırlanacak orman amenajman planları söz konusu sorunların azaltılması ya da tamamen çözümünde hayati önemde olacaktır. Bu nedenle, erozyon tahmin modelleri yardımıyla toprak kayıplarının sayısallaştırılması ve haritalanması gerekmektedir.

1.2.4. Erozyon Tahmin Modelleri

Erozyon ölçümü amacıyla dünyada birçok geleneksel yöntem mevcuttur (Bhattarai ve Dutta, 2007). Sahaya kurulan deneme parselleri üzerinde gerçekleştirilen bu ölçümler yardımıyla toprak kaybı ve yüzeysel akış belirlenebilmektedir. Ancak geleneksel yöntemler yalnızca o alana ait lokal veri sağlarlar. Ayrıca bu yöntemlerin uygulanması ekonomik ve pratik değildir (Harmsen, 1996). Bu nedenlerle 1960'lı yıllardan itibaren modern erozyon tahmin modelleri geliştirilmiştir. Günümüzde küresel, ulusal, bölgesel ve havza ölçeğindeki erozyon risk analizleri bu modellerle yapılmaktadır (Desmet ve Govers, 1996).

Erozyon tahmin modellerinin temel amacı; belirli büyüklükteki arazi parçası üzerinde meydana gelen toprak erozyonunun şiddetini ve dağılışını nicel olarak tahmin ederek bu değerin tolere edilebilir olup olmadığını değerlendirmektir. Eğer aktüel erozyon miktarı, ilgili arazi kullanımı için tolere edilebilir limitlerin üzerinde ise; bu alanlarda teraslama, ağaçlandırma, taş kordon vd. erozyon kontrol faaliyetleri yürütmek gerekir (Fıstıkoğlu ve Harmancıoğlu, 2002; Saygın ve ark., 2014). Aksi takdirde verimli toprak yerinden kaybolarak arazi bozulumu gerçekleşebilir. Bunun için arazinin birim alanında (1 ha) belirli bir periyotta (1 yıl) gerçekleşen toprak kaybı miktarının ağırlık birimi cinsinden (ton) tahmin edilmesi gerekir (Renard ve ark., 1997; Vatandaşlar, 2015). Bu amaçla dünyada birçok erozyon tahmin modeli üretilmiştir. Lørup ve Styczen (1996) bu modellerin üç başlık altında gruplandırılabileceğini belirtmektedir;

- Ampirik modeller,
- Fiziksel (süreç) temelli modeller,
- Karma modeller (kısmen ampirik, kısmen süreç tabanlı).

Universal Soil Loss Equation (USLE) / Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (ETKE) (Wischmeier ve Smith, 1978) ve onun türevi Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) / Yenilenmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (YETKE) (Renard ve ark., 1997) dünyada en yaygın kullanılan ampirik erozyon modellerindendir (Fıstıkoğlu ve Harmancıoğlu, 2002; Pan ve Wen, 2014). Bu tip modeller, sahada yapılmış çok sayıda deneme parsellerinden türetilen katsayılara dayanan matematik formülizasyonlar içerirler. Sade ve anlaşılabilir yapıları, ulaşılabilir veri istekleri ve nispeten basit uygulanabilirlikleri bu modellerin 1960'lardan itibaren bilimsel çevrede oldukça popüler olmasına yol açmıştır. 1980'li yıllardan sonra ise WEPP (Nearing ve ark., 1989), SWAT (Arnold ve ark., 1998), EUROSEM (Morgan ve ark., 1998), PESERA (Kirkby ve ark., 2004) ve SHETRAN (Ewen ve ark., 2000) gibi fiziksel temelli modeller de literatüre girmiştir. Bu modellerin diğerlerine göre bir takım üstünlükleri vardır. Örneğin; farklı arazi kullanımları için daha doğru ekstrapolasyon yapabilirler. Bunun yanı sıra simülasyona izin verirler ve sediment birikim süreçlerini daha iyi temsil ederler. Ancak tüm bu üstünlüklerine rağmen fiziksel temelli modellerin kullanım alanları oldukça sınırlıdır. Çünkü bu tip modellerin kalibrasyon aşamaları oldukça karmaşıktır, veri gereksinimleri çok fazladır ve en önemlisi kullanıcı dostu değildirler (Pandey ve ark., 2016). Son olarak ANSWERS (Beasley ve ark., 1980) ve

CREAMS (Knisel, 1980) karma model tipine örnek olarak gösterilebilir. Bu tip modeller genellikle yamaç ya da alt havza ölçeğinde münferit olay (sağanak yağış, fırtına vd.) temelli olarak çalışırlar (Fıstıkoğlu ve Harmancıoğlu, 2002). Kendine dünya çapında yaygın kullanım alanı bulmuş erozyon tahmin modellerinden bazılarına ait detaylı bilgiler aşağıda yer almaktadır.

USLE (Universal Soil Loss Equation): Türkçeye "Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (ETKE)" olarak geçen USLE, suyla oluşan toprak erozyonunu topografya, iklim, arazi örtüsü ve toprak faktörlerine ait ölçülebilir ve hesaplanabilir değişkenler yardımıyla nicel olarak tahmin eden ampirik bir modeldir (Wischmeier ve Smith, 1978). Bu model ABD'nin 49 farklı bölgesinde her yıl düzenli olarak ölçülmüş 10000'den fazla deneme parseline ait verisetlerine dayanmaktadır (Laflen ve Moldenhauer, 2003). Esasen ABD Tarım Bakanlığı (USDA) tarafından 1957 yılında geliştirilen USLE, 1972 yılına dek yalnızca tarım alanlarında kullanılmış, 1978 yılında ise son halini alarak Rocky Dağları'ndaki orman ve meralarda denenmiştir (Balcı, 1996). Bu model, arazide toprak taşınmasının yaşandığı ancak depolanmanın oluşmadığı kesimlerdeki yüzey ve parmak erozyonuyla oluşan ortalama toprak kaybı miktarını yıllık olarak verebilmektedir. Nispeten sade ve kolay anlaşılır yapısı onu 1960'lı yıllardan beri tüm dünyada oldukça popüler kılmıştır. Ancak USLE'nin bir takım dezavantajlarının da bulunduğu bilinmektedir. Örneğin; bu model birikme, kanal erozyonu ve oyuntu erozyonunu tahmin edememektedir. Buna ilaveten USLE yalnızca geniş zaman aralıkları için kullanılabilmekte, münferit yağış olayları sonucunda meydana gelen ani toprak kayıplarını modelleyememektedir. Modelin diğer bir kısıtı ise aslen ABD'deki tarım arazileri için geliştirildiğinden, dünyanın diğer bölgelerindeki farklı arazi kullanımları için tarım alanları kadar başarılı tahminlerde bulunamamasıdır (Fıstıkoğlu ve Harmancıoğlu, 2002; De Roo, 1996). Özellikle 1980'li yıllarda bozuk orman alanlarındaki başarısız denemeler (Dissmeyer ve Foster, 1981; 1984) modelin tahmin başarısını sorgulatmış ve USLE'nin güncellenmesi gerekliliğini doğurmuştur (Renard ve ark., 2011). Nihayetinde USLE revize edilerek 1997 yılında RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) halini almıştır. RUSLE modeli bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak tanıtıldığından burada değinilmemiştir.

SWAT (Soil Water Assessment Tool): Türkçeye "Toprak−su değerlendirme aracı" olarak çevrilebilecek SWAT; su, sediment ve tarımsal kimyasallara uygulanan farklı

amenajman pratiklerinin etkisini ölçmek için tasarlanmış ABD orijinli fiziksel temelli bir modeldir. Bu model, içerisinde iklim ya da sediment istasyonu bulunmayan çok geniş havzalarda bile çalışabilmektedir. SWAT'ın en önemli özelliklerinden biri sürekli bir model oluşudur. Diğer bir ifadeyle; yılın 365 günü boyunca 1 günlük zaman aralıklarıyla simülasyon gerçekleştirebilmektedir (Arnold ve ark., 1998). Modelin diğer avantajları ise CBS ile kolayca entegrasyon sağlaması ve geniş veri tabanıdır. Dezavantajları ise sel, taşkın ve yüzeysel akış piklerini modelleyememesidir. Bunun nedeni; dağlık havzalardaki eriyen karın toprak tarafından emileceğinin varsayılmasıdır. Oysa doygun toprak tabakası bu dönemlerde donmuş olduğundan perkolasyon söz konusu olmamaktadır (Pandey ve ark., 2016).

CREAMS (Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Mng. Systems): Türkçesi "Tarımsal yönetim sistemleri kaynaklı kimyasallar, yüzeysel akış ve erozyon" olan CREAMS modeli yine ABD'de geliştirilmiş olan sürekli bir modeldir (Knisel, 1980). Modelin ana mantığı araziyi olabildiğince homojen birimlere parçalayarak birbirine yakın topografik özellik gösteren birimlerdeki erozyonu daha doğru tahmin etmektir. Bunun için birbirini takip eden 7000 günün iklim verileri modele girdi olarak sokularak 20 yıllık bir periyot için ortalama yıllık toprak kayıpları hesaplanabilir (Morgan ve Nearing, 2011). CREAMS'in belki de en önemli özelliği yalnızca yüzey ve parmak erozyonunu değil, oyuntu ve birikintileri de modelleyebilmesidir. Fakat model bir takım dezavantajlara da sahiptir. Bunlar; yalnızca münferit iklim olaylarına bağımlı olması, küçük alanlarda etkili olması, ağır hesap yükü nedeniyle yavaş çalışması ve CBS yazılımları ile uyum problemleri olarak sıralanabilir (Pandey ve ark., 2016).

Görüldüğü gibi dünyada farklı amaçlar için geliştirilmiş ve değişik karmaşıklık düzeylerinde birçok erozyon tahmin modeli mevcuttur. Literatürde bu modellerin kullanıldığı binlerce çalışma vardır. Bu aşamada hangi modelin tercih edilmesi gerektiği sorusu ortaya çıkmaktadır. Bunun için gerçekleştirilmesi planlanan çalışmanın amaçlarının en baştan net olarak ortaya konması ve bunlara en iyi şekilde cevap verecek erozyon modelinin seçilmesi gerekir. Ancak Fıstıkoğlu ve Harmancıoğlu (2002)'nun da belirttiği gibi model detayı arttıkça ihtiyaç duyulan veri türü ve boyutu da artacaktır. Bu verisetleri temin edilse bile süreç tabanlı ya da fiziksel temelli modellerin daha doğru tahminler üreteceği kesin değildir (Boardman ve Favis-

Mortlock, 1998; Nearing, 2013). Dolayısıyla, özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerdeki veri noksanlığı göz önünde bulundurulduğunda karmaşık modellerin bu yapısı ciddi bir dezavantaja dönüşebilir. Bu nedenle, bu tez çalışmasında nispeten sade yapıdaki ampirik modellerden RUSLE kullanılmıştır.

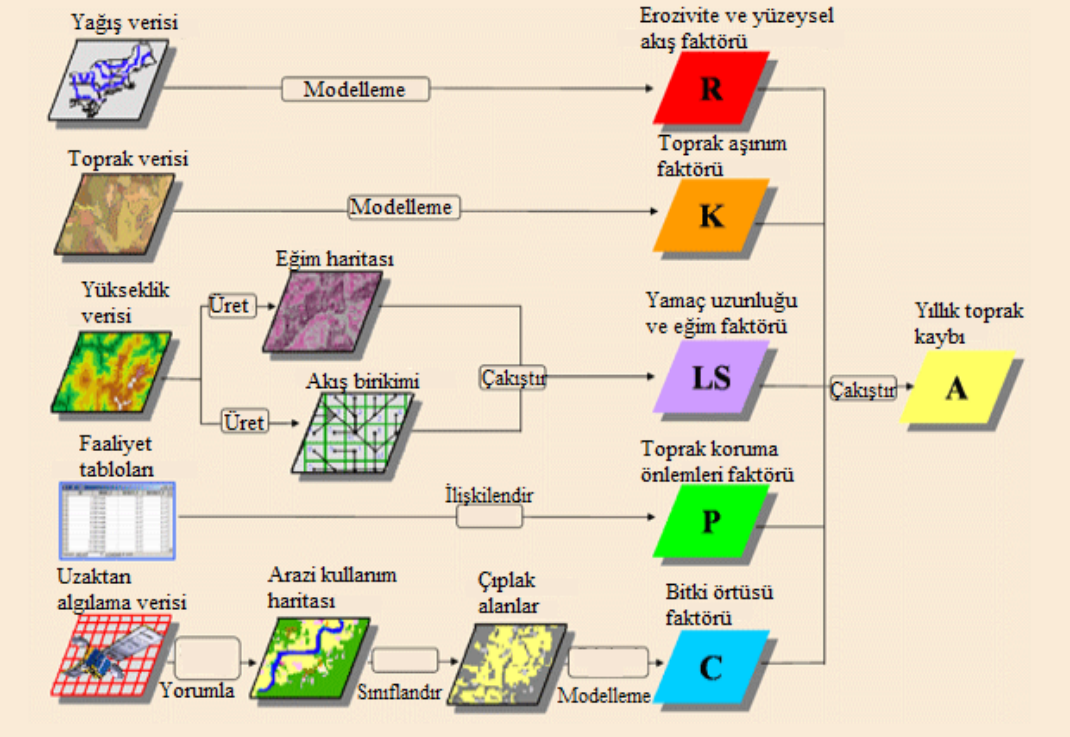
1.2.4.1. RUSLE Erozyon Tahmin Modeli

Türkçeye *"Yenilenmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (YETKE)"* olarak çevrilen Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) modeli, USLE'nin 1997 yılında revize edilmiş versiyonudur (Renard ve ark., 1997). Modelin temel formu aynı kalmasına rağmen faktör parametreleri USLE ile edinilen 30 yıllık tecrübe ve bu süre zarfında dünyanın çeşitli bölgelerinde yapılan yeni erozyon çalışmaları ışığında modifiye edilmiştir. Önemli modifikasyonlar C (bitki örtüsü ve ürün yönetimi), LS (yamaç uzunluğu ve eğimi) ve P (toprak koruma önlemleri) faktörlerinde yapılmıştır. Böylelikle modelin tahmin başarısı artmış, daha esnek bir yapıya kavuşmuş, veri boşlukları doldurulmuş ve ABD dışındaki bölgelerde de kendine yaygın kullanım alanı bulmuştur (Eisazadeh ve ark., 2012; Pan ve Wen, 2014). Günümüzde RUSLE dünyada en çok kullanılan erozyon tahmin modelleri arasında açık ara birincidir (Auerswald ve ark., 2014). Bunun nedeni modelin makul veri gereksinimi, kolay uygulanabilirliği ve geniş arazilerde UA/CBS teknikleriyle uyum içerisinde çalışabilmesidir (Zhang ve ark., 2006; Tang ve ark., 2015; Vatandaşlar ve Yavuz, 2017).

RUSLE, arazideki yüzey ve parmak erozyonlarından kaynaklanan yıllık ortalama toprak kaybını uzun vadede tahmin etmek için geliştirilmiş ampirik bir modeldir. Modelin içerisinde yağış, toprak, yamaç uzunluğu ve eğim, bitki örtüsü ve varsa koruma önlemleri faktörlerinin kombine edildiği bir eşitlik işlem görmektedir (Renard ve ark., 1997). Bu eşitlik 2.3.6 numaralı bölümde ayrıntılı olarak tanıtıldığı için burada ayrıca anlatılmamıştır. Ancak söz konusu eşitlik içerisindeki faktörler ve RUSLE modelinin genel çalışma prensibi Şekil 4'te sunulmuştur.

Yağmur erozivite ve yüzeysel akış (R) faktörü: Yağmur damlalarının düşüş esnasındaki kinetik enerjisi ve şiddetine dayalı olarak toprağı erozyona uğratabilme kapasitesinin bir ölçütüdür. Birimi MJ mm ha^{-1} s^{-1} $yıl^{-1}$'dır. Belirli zaman dilimleri için çalışma alanında ya da yakınlarında bulunan meteoroloji istasyonlarından temin edilen verilerle hesaplanır (Vatandaşlar, 2015; Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016; ÇEM, 2018).

Tüm Türkiye için hesaplanmış bu veriler YETKE R-faktörü kitabında (ÇEM, 2016b) yer almaktadır. Ancak bu veriler yalnızca ilgili istasyonların konumu için geçerli olduğundan tüm çalışma alanına enterpole edilmeleri gerekmektedir. Enterpolasyon işlemi Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve CBS yazılımlarındaki çeşitli fonksiyonlar yardımıyla yapılabilir. Ayrıca literatürde bu hesaplamalar için geliştirilmiş özel indisler de bulunmaktadır (Arnoldus, 1977; Wischmeier ve Smith, 1978; Renard ve Freimund, 1994; Renard ve Foster, 1998). Böylelikle su erozyonunun en önemli nedenlerinden biri olan yağışın toprağı aşındırma gücü tespit edilebilir (ÇEM, 2018).



Şekil 4. Modelin çalışma prensibi ve RUSLE faktörleri (UVM 2019'dan değiştirilerek)

Toprak aşınım (K) faktörü: Toprağın doğal yapısına bağlı olarak suyun etkisiyle meydana gelen aşınmaya karşı gösterdiği direncin ölçütüdür (Renard ve ark., 1997; Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016). Birimi t ha s ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}'dir. Renard ve ark. (1997)'nın raporladığı K-faktör değerleri 22,13 m uzunluğunda ve %9 eğimli nadasa bırakılmış arazide erozyon indeksine karşılık gelen erozyon oranlarına dayanmaktadır. Farklı çalışma alanları için araziden üst toprak örnekleri alınıp analiz edilmesi sonucunda bunların tekstür, strüktür, organik madde ve permeabilite parametrelerine göre hesaplanabilir. Ayrıca bu parametrelerin hepsine ihtiyaç duymayan birçok formül de mevcuttur (Römkens ve ark., 1986; Torri ve ark., 1997; Torri ve ark., 2002). Tıpkı R-

faktöründe olduğu gibi K-faktörü için hesaplanan değerler de, noktasal konumu temsil ettiklerinden uygun CBS fonksiyonlarıyla tüm çalışma alanına enterpole edilmeleri gerekmektedir.

Yamaç uzunluğu ve eğim (LS) faktörü: Topografyanın toprak kaybı üzerine etkisini belirleyen iki önemli faktörden biri yamacın uzunluğu (L), diğeri de eğimin şiddetidir (S). L-faktörü; belirli uzunluktaki yamaçta oluşan toprak kaybının aynı özelliklere sahip %9 eğimli ve 22,13 m uzunluktaki yamaçta oluşan toprak kaybı miktarına oranı olarak tanımlanmıştır (Wischmeier ve Smith, 1978; Renard ve ark., 1997). Aynı araştırmacılar S-faktörünü ise, belirli bir eğime sahip yamaçta oluşan toprak kaybının aynı özelliklerdeki %9 eğimli ve 22,13 m uzunluktaki yamaçta oluşan toprak kaybı miktarına oranı olarak tanımlamışlardır. Her iki faktör de birimsiz olup, uygulamada genellikle beraber değerlendirilerek model içerisinde aynı anda kullanılırlar. Yamacın uzunluğu ve eğimin şiddeti arttıkça LS-faktörünün toprak kaybı üzerindeki bileşik etkisi de artar (Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016). 1990'lı yıllarda CBS ortamında yapılan konumsal analizlerin gelişip tüm dünyada yaygınlaşmasıyla birlikte SYM'lerinin LS-faktör hesaplanmasında kullanımı da artmış ve kolaylaşmıştır. Kinnell (2001), Winchell ve ark. (2008) ve Schmidt ve ark. (2019) gibi birçok araştırmacı orijinal L-faktör formülündeki (Wischmeier ve Smith, 1978) yamaç uzunluğu değerinin CBS ortamındaki akım birikimine (flow accumulation) karşılık geldiğini belirtmiş ve buna göre yeni formüller türetmişlerdir. Bu formüllerdeki temel yaklaşım SYM'ndeki grid hücresine gelen birikimli akış değerlerinin o grid hücresinin boyutuyla çarpılması esasına dayanır. Bu şekilde bulunan toplam akış birikim alanı, kullanılan S-faktör formülü uyarınca genellikle eğimin sinüsü ve belli bir katsayıyla çarpılarak LS-faktörü hesaplanmış olur.

Bitki örtüsü ve ürün yönetimi (C) faktörü: Belirli bir bitki örtüsüne sahip arazide meydana gelen toprak kaybı miktarının, nadasa bırakılmış çıplak arazideki miktara oranı olarak ifade edilmektedir (Renard ve ark., 1997). C-faktörü birimsiz olup, bitki örtüsünün türüne, kapalılığına ve formuna göre büyük değişimler gösterebilir (Tablo 1). Ayrıca zamansal dinamizmi, konumsal heterojenliği ve diğer faktörlerin aksine insan tarafından kontrol edilebilmesi C-faktörünü RUSLE modelindeki en kritik faktör yapmaktadır (Toy ve ark., 1999; Renard ve ark., 2011). Bu yüzden C-faktörünü belirlerken geçmiş çalışmalara dayalı olarak önerilen değerlerden ziyade, araziden

direkt ölçümlerle hesaplanan değerlerin kullanılması önemlidir. Çünkü bu değerler alana özel olup, bölgeden bölgeye büyük değişiklikler gösterebilirler (Vatandaşlar ve Yavuz, 2017). Literatürde önerilen değerler ise çoğunlukla ABD'ye özgü olup, tümü yurtdışında yapılan deneme parsellerine dayanmaktadır. Erozyonu meydana getiren faktörler arasında amenajman ile kontrol edilebilen tek faktör oluşu ve erozyonu önleme fonksiyonunun göstergesi olması nedenleriyle bu çalışmada C-faktörü modellemesine özel önem verilmiştir.

Tablo 1. Çeşitli AKAÖ tipleri için C-faktörleri (Renard ve ark., 1997)

Arazi kullanım/Arazi örtüsü tipi	Ort. C-faktör değeri
Geniş yapraklı orman	0,003
İğne yapraklı orman	0,001
Karışık orman	0,002
Sulanmayan ekilebilir alan	0,4
Sürekli sulanan alan	0,2
Sulanmayan meyve ağaçları	0,296
Mera	0,04

C-faktörü; arazide tepe tacı kapalılığı, yer örtme derecesi, yüzey pürüzlülüğü, toprak nemi ve önceki arazi kullanımının tespit edilerek bu beş alt faktörün birbiriyle çarpılması suretiyle hesaplanmaktadır (Renard ve ark., 1997; Toy ve Foster, 1998). Arazi örneklemesi yapıl(a)mayan alanlara ise Tablo 1'deki değerler genellikle CBS'de vektör formatındaki haritalara arazi kullanım sınıfları itibariyle atanmaktadır. Ancak bu yaklaşımın bazı sakıncaları vardır. Özellikle orman gibi heterojen arazi sınıflarında aynı poligon içerisinde kalan alanlar kapalılık, diri örtü örtme derecesi vd. parametreler yönünden aynı özellikleri göstermeyebilirler. Bu nedenle, yüksek çözünürlüklü multispektral görüntüler üzerinden NDVI hesaplatılarak, C-faktörünün piksel ölçeğinde konumsal modellemesi yapılmalıdır. Bu yaklaşım için geliştirilmiş bazı modeller literatürde yer almaktadır (Vatandaşlar ve Yavuz, 2017; Durigon ve ark., 2014, Karaburun, 2010). Mekansal çözünürlükleri artan UA ürünleri ve söz konusu modeller sayesinde C-faktörü günümüzde daha doğru bir şekilde tahmin edilebilmektedir. C-faktörünün tahmininde kullanılan alt faktörler ve bunların hesaplanışı 2.3.6.4 numaralı alt bölümde ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Toprak koruma önlemleri (P) faktörü: Teraslama, şerit ekimi, toprak işleme gibi esasen yüzeyin pürüzlülük katsayısını arttırmaya yarayan faaliyetler, toprak koruma önlemleri olarak anılmaktadırlar. P-faktörü; bu faaliyetlerin yapıldığı bir alanda gerçekleşen toprak kaybı miktarının, hiçbir toprak koruma önlemi alınmamış ve eğim yönünde sürülmüş bir alanda gerçekleşen toprak kaybı miktarına oranı olarak tanımlanabilir (Renard ve ark., 1997; Vatandaşlar, 2015). Çalışma alanında herhangi bir toprak koruma önlemi yoksa P-faktörü RUSLE modelinde 1 olarak alınır. Yani uygulamada P-faktör haritası üretilmez ve böylece P-faktörü etkisizleştirilerek toprak kaybı üzerindeki rolü sıfırlanmış olur. Bu yüzden literatürde RUSLE yöntemini kullanarak yapılmış çalışmaların büyük bir bölümünde P-faktörü hesaplanmamaktadır.

Yıllık potansiyel toprak kaybı (A-faktörü): Yukarıda tanımlanan beş faktöre ait CBS'de üretilmiş raster katmanların birbirleriyle çarpılması (çakıştırılması) sonucunda ortaya çıkan yıllık potansiyel toprak kaybı miktarıdır. Birimi t ha^{-1} $yıl^{-1}$'dır (Renard ve ark., 1997). RUSLE'nin nihai model çıktısını oluşturan A-faktörü yalnızca arazide yüzey ve parmak erozyonuyla gerçekleşen erozyon miktarını tahmin etmektedir (Fıstıkoğlu ve Harmancıoğlu, 2002). Bu miktar işletme sınıfı, bölme, bölmecik veya piksel ölçeğinde analiz edilebildiği gibi tüm çalışma alanı için ortalama, minimum, maksimum ve toplam değerler olarak da CBS ortamında hesaplatılabilir.

Sediment iletim oranı (SİO) ve sediment verimi (SV): RUSLE modeli ile hesaplanan yıllık potansiyel toprak kaybı (A-faktörü) miktarları yüzeyde gerçekleşen toprak hareketliliği olup, bunun tamamı havzayı terk etmemektedir (Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016). Diğer bir ifadeyle A-faktörü; havza içerisinde yer değiştiren toprak miktarıdır. Bu miktarın bir kısmı derelere ulaşıp suyla taşınarak havzanın mansabından çıkabileceği gibi, bir kısmı da havza içerisinde bulunan kolüvyal düzlükler, çukurlar, oyuntular ya da baraj rezervuarlarında birikebilir. Bu yüzden yerinden hareket eden toplam toprak miktarının ne kadarlık kısmının havzayı terk ettiğinin belirlenebilmesi için havzanın SİO'nın bilinmesi gerekir. Oğuz ve ark. (2002)'na göre SİO'nı etkileyen ana faktörler; havzanın formu, büyüklüğü, yüksekliği, topografyası, drenaj ağı, akarsu ortalama eğimi ve toprak özellikleridir. Lüteratürde SİO'nın hesaplanmasında kullanılan birden çok formül vardır (Boyce, 1975; Kumar ve ark., 2019). Bu formüller yukarıda sayılan faktörlerden bazılarını dikkate alarak geliştirilmiştirler. Havzanın

büyüklüğüne dayalı formüller uyarınca, alan büyüdükçe toplam toprak kaybının havza çıkış noktasına ulaşan yüzdesi (SİO) azalmaktadır. Benzer şekilde, akarsu ortalama eğimi daha düşük havzalarda da SİO azalmaktadır. SİO'nın RUSLE ile tahmin edilen yıllık potansiyel toprak kaybı miktarı ile çarpılması sonucunda havzanın sediment verimi (SV) bulunur. SV; havzayı terkeden toprak kaybı miktarıdır (Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016).

1.2.5. Erozyon Tahmin Modellerine UA ve CBS'nin Entegrasyonu

Toprak erozyonu çok geniş alanlarda gerçekleşebilen konumsal bir olaydır. Yani erozyona duyarlılık arazinin her kesiminde aynı olmamakta, bölgeden bölgeye önemli farklılıklar gösterebilmektedir (Petter, 1992; Ekinci, 2005). Ayrıca erozyon kontrol faaliyetlerinin arazinin nerelerinde gerçekleştirilmesi gerektiğini belirlemek ve bunları önceliklendirebilmek için toprak kaybının konumsal dağılımının bilinmesi gerekmektedir (Jain ve Das, 2010). Bu nedenle, erozyon risk analizlerinde veri toplama, sayısallaştırma, konumsal analiz, bitki örtüsü haritalama ve risk sınıflandırması gibi amaçlarla UA ve CBS tekniklerinden sıklıkla yararlanılır (Mkhonta, 2000; Fıstıkoğlu ve Harmancıoğlu, 2002; Perovic ve ark., 2016; Vatandaşlar ve Yavuz, 2017). Özellikle son dönemlerde UA ve CBS teknolojisindeki gelişmeler RUSLE yönteminin de bu tekniklerle kombine edilerek kullanılmasına yol açmıştır (Chen ve ark., 2011; Durigon ve ark., 2014; Imamoglu ve Dengiz, 2017; Tufekcioglu ve ark., 2018). Yakın zaman önce yapılan bir çalışmada Kumar ve ark. (2019) UA ve CBS'nin RUSLE ile kombinasyonu sayesinde havzadaki yıllık toprak kaybının eskiye nazaran daha doğru bir şekilde tahmin edilebileceğini belirtmektedirler. Toprak kaybı tahminlerine ilaveten, bu miktarların farklı arazi kullanım sınıfları için tolere edilebilir olup olmadığının karşılaştırılması ve buna göre arazi yönetiminin sürdürülebilir bir şekilde planlanması da UA ve CBS'deki jeoistatistik yöntemler sayesinde gerçekleştirilir (Yılman, 2009).

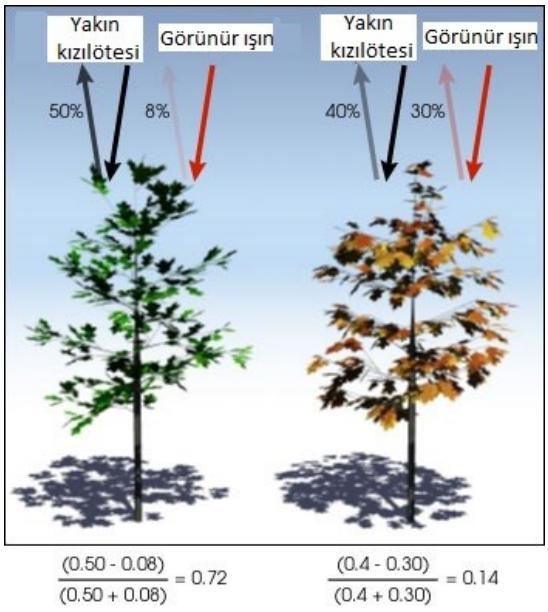
Bu amaçlarla en sık kullanılan UA ürünleri; uydu görüntüleri ve sayısal hava fotoğraflarıdır. Bu ürünler genellikle arazi üzerindeki aktif erozyon sahalarının (oyuntu vd.) belirlenmesinde, arazi kullanımındaki zamansal değişimin izlenmesinde ve bitki örtüsü türü ya da kapalılığının haritalanmasında kullanılırlar (Borrelli ve ark., 2017a; Vatandaşlar, 2015). Özellikle RUSLE yöntemindeki bitki örtüsü ve ürün

yönetimi (C) faktörünün hesaplanmasında popüler UA ürünlerinden Normalize Edilmiş Fark Vejetasyon İndisi (NDVI−Normalized Difference Vegetation Index; Tucker, 1979) sıklıkla kullanılır. NDVI sayesinde geniş araziler üzerinde bulunan canlı vejetasyonun yayılışı, yoğunluğu ve sağlığı tespit edilerek bu alanlar çıplak arazilerden kolaylıkla ayırt edilebilmektedir (Durigon ve ark., 2014; Borrelli ve ark., 2017b; Vatandaşlar ve Yavuz, 2017).

NDVI'ın mantığı esasen multispektral görüntülerdeki kırmızı ve kızılötesi bantların spektral yansımaları arasındaki farka dayanmaktadır. Bu fark özellikle canlı bitki örtüsü yoğun olan arazi kesimlerinde oldukça fazladır. Çünkü canlı bitkiler yapraklarındaki klorofiller ile fotosentez yaparken güneşten gelen elektromanyetik enerjinin 0,63 µm ve 0,69 µm dalga boyları arasındaki kırmızı ışığa (Red band) tekabül eden bölümünü kullanırlar (Kandemir, 2010). Dolayısıyla yoğun bitki örtüsüyle kaplı arazilerde optik görüntünün kırmızı bandındaki pikseller düşük yansıma değerlerine (Digital Number−DN) sahip olurlar. Bunun tam aksine; 0,7 µm ve 2,5 µm dalga boyları arasındaki yakın kızılötesi (Near−InfraRed) bölgeye (NIR band) tekabül eden enerji, bitkiler tarafından bünyeye alınmayıp şiddetli bir şekilde geri yansıtılırlar. Dolayısıyla aynı görüntünün NIR bandındaki pikseller çok yüksek yansıma değerlerine sahip olurlar. Söz konusu iki bant arasındaki bu zıtlıktan yararlanan NDVI'ın grafik gösterimi Şekil 5'te verilmiştir. Teoride NDVI haritasındaki değerler −1 ile 1 arasında değişim gösterir. Yoğun ve canlı bitki örtüsüyle kaplı pikseller 1'e yakın NDVI değerleri alırken, seyrek bitki örtülü ya da çıplak alanlara ait pikseller 0'a yakın değerler almaktadırlar. Arazideki göl, nehir vd. su kütlelerini içeren görüntü piksellerinin NDVI değerleri ise −1'e doğru yaklaşmaktadır (Tucker, 1979). Literatürde bu değerleri sınıflandırarak ya da modellerde girdi olarak kullanarak C-faktörünü başarılı bir şekilde tahmin eden birçok çalışma mevcuttur (Smith ve ark., 2007; Durigon ve ark., 2014; Vatandaşlar ve Yavuz, 2017).

Erozyon risk analizi çalışmalarında CBS teknolojisinden de azami şekilde faydalanılmaktadır (Fıstıkoğlu ve Harmancıoğlu, 2002). CBS'nin bu anlamdaki ilk işlevi erozyonla ilgili üretilen konumsal verisetlerinin sayısal formatta depolandığı veri tabanı ortamı yaratmasıdır. Bu sayede erozyon haritalarının rahatlıkla güncellenmesi, birbirleriyle karşılaştırılması, yeniden sınıflandırılması, diğer kullanıcılarla paylaşılması ya da basılı çıktılarının alınması mümkün olmaktadır

(Özsoy, 2007). Diğer taraftan CBS erozyona etki eden münferit faktörlerin (eğim, toprak, iklim vd.) toplam sonuca olan katkılarının sayısallaştırılmasına da izin verir. Yüzölçümü çok büyük olabilen çalışma alanlarını küçük grid hücrelere bölerek münferit faktörlerin belirli kesimlere olan etkileri derinlemesine incelenebilir (Bhattarai ve Dutta, 2007; Demirci ve Karaburun, 2012). Bunlara ilaveten CBS araç kutusundaki onlarca fonksiyon çok çeşitli konumsal analizlerin yapılmasına imkan tanımaktadır. Örneğin; Tüfekçioğlu ve Yavuz (2016) popüler CBS yazılımlarından ArcGIS 10.2 ile yıllık toprak kaybı miktarlarını beş grup altında sınıflandırarak çalışma alanlarını erozyon risk kategorilerine ayırmışlardır. Buna göre çalışma alanının yüzde kaçının hangi risk kategorisinde yer aldığını, yine bu yazılımla belirlemişlerdir. Sonuç olarak, erozyon kontrol faaliyetlerinin öncelikli olarak en yüksek risk kategorisinde bulunan sahalarda başlatılması önerilmiştir. Gerekli görülmesi durumunda, CBS ile aynı verisetine farklı bölgeler için farklı risk derecelendirmeleri kısa sürede uygulanabilmektedir. CBS'nin erozyon çalışmalarında yararlanılabilecek diğer fonksiyonları; örnek alanların oluşturulup sahaya dağıtılması için *Data Management* aracı, NDVI haritasının oluşturulması için *Raster Calculator*, toprak kayıplarının alan bazlı belirlenmesinde *Zonal Statistics* ya da *Overlay* fonksiyonu, erozyon risk haritalaması için *Reclassification*, homojen alt havzalar oluşturmak için *Spatial Analyst* ve K-faktörü yüzeyinin üretiminde çeşitli enterpolasyon yöntemleri olarak sıralanabilir.



Şekil 5. Canlı ve cansız vejetasyonun yakın kızılötesi ve görünür ışığı yansıtma oranları (NASA 2013'ten değiştirilerek)

1.3. Sürdürülebilir Orman Yönetimi (SOY) Kavramı

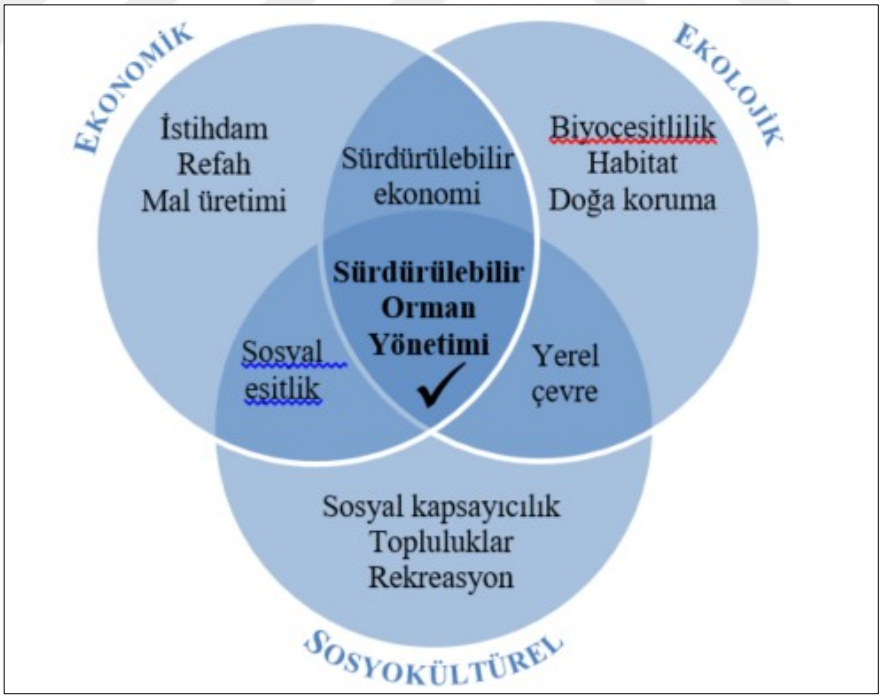
Giderek artan çevre kirliliği ve doğal kaynaklara verilen geri döndürülemez zararlar, 20. yüzyılda insanlar tarafından daha fazla hissedilmeye başlanmıştır. Küresel ölçekte yaşanan bu çevresel problemlere karşı bir takım önlemlerin alınması zorunlu hale gelmiş ve uluslararası camia harekete geçmiştir. Özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısında bir takım birliktelikler oluşturulmuş ve çeşitli bildiriler yayınlanmıştır (bkz. Doğaya Dönüş Hareketi−1920'ler, Sessiz Bahar kitabı−1962, Roma Kulübü−1968, Büyümenin Sınırları raporu−1972, Stockholm Konferansı−1972, Ortak Geleceğimiz raporu−1987, Strasbourg Konferansı−1990, Rio Zirvesi−1992). Bunlardan Brundtland Komisyonu'nun 1987 yılında yayınladığı Ortak Geleceğimiz raporunda özetle; *"Kalkınmayı ihmal ederek çevreyi koruyamayız, çevreyi ihmal ederek de kalkınmayı sağlayamayız. Dolayısıyla çevre ve kalkınma sürdürülebilir bir biçimde ve belirli bir dengede gerçekleştirilmelidir"* vurgusu yapılmıştır (WCED, 1987). 1992 yılında Rio de Janeiro'da düzenlenen Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı (Rio Zirvesi) ise küresel ölçekte ses getirmiş ve bu süreçte bir dönüm noktası olmuştur. Çünkü Rio Zirvesi kendisinden sonra gelen diğer çevresel süreçleri de tetiklemiş ve onları şekillendirmiştir. Sürdürülebilir Orman Yönetimi (SOY) ilk kez Rio Zirvesi'nde kavramsallaştırılmıştır. Genel Kurul tarafından yayınlanan çıktıda (Ek3, Prensip 2b); *"Orman kaynakları bugünün ve gelecek nesillerin sosyal, ekonomik, ekolojik, kültürel ve ruhsal ihtiyaçlarını karşılamak için sürdürülebilir bir şekilde yönetilmelidir. İhtiyaç duyulan bu orman ürünleri ve hizmetler; odun, ODOÜ, su, gıda, ot, ilaç, yakacak, barınma, işlendirme, rekreasyon, yaban hayatı için habitat, peyzaj çeşitliliği, karbon yutağı ve diğer orman ürünleridir. Ormanların çok yönlü faydalarını tam olarak sağlayabilmek için hava kirliliği de dahil olmak üzere çevre kirliliği, yangın, böcek ve hastalıkların zararlı etkilerine karşı ormanları korumak için gerekli önlemler alınacaktır"* ifadesi yer almıştır (UNCED, 1992). Daha sonra bu ifadeye dayanarak çeşitli SOY tanımları yapılmıştır. Örneğin Kuzey Orman Birliği SOY'ni; *"Gelecek nesillerin bağımlı olacağı ormanların üretim kapasitesi ve biyolojik entegrasyonunu tehlikeye atmadan, bugünkü toplumlar için ormanlardan mal ve hizmet üretimi"* şeklinde tanımlamıştır (NFA, 1999). Uluslararası Tropik Ahşap Örgütü (ITTO)'nün tanımı ise *"ormanların eskiden beri taşıdıkları temel özelliklerini ve gelecekteki verimliliğini yok etmeden, fiziksel ve sosyal çevreye olabilecek istenmeyen etkilerden kaçınarak, bir veya birden çok açıkça belirtilmiş amaç doğrultusunda talep edilen*

orman mal ve hizmetlerini devamlı bir şekilde üretmek" şeklindedir (ITTO, 2019). Rio Zirvesi'ni takiben 1993 yılında Helsinki'de düzenlenen Avrupa Ormanları'nın Korunması 2. Bakanlar Toplantısı'nda ise SOY; *"...ormanların ve orman alanlarının yerel, ulusal ve küresel düzeylerde biyolojik çeşitliliğini, verimliliğini, kendini yenileme kabiliyetini, yaşama enerjisini,* ***ekolojik, ekonomik ve sosyal fonksiyonlarını*** *yerine getirebilme potansiyelini* ***şimdi ve gelecekte koruyacak*** *ve diğer ekosistemlere zarar vermeyecek bir şekilde düzenleme ve yararlanma biçimi"* (s. 1) olarak ifade edilmiştir (Resolution H1, 1993; OGM, 2010). Görüldüğü gibi farklı kurum ve otoriteler tarafından kendi hassasiyetlerini önceleyen birçok SOY tanımı yapılmıştır. Ancak, Avrupa Ormanları'nın Korunması 2. Bakanlar Toplantısı'nda yapılan tanım hem Türkiye hem de diğer uluslararası süreçler tarafından benimsenmiş ve günümüzde de ortak kabul gören küresel bir tanım haline gelmiştir (Otrakçıer, 2008).

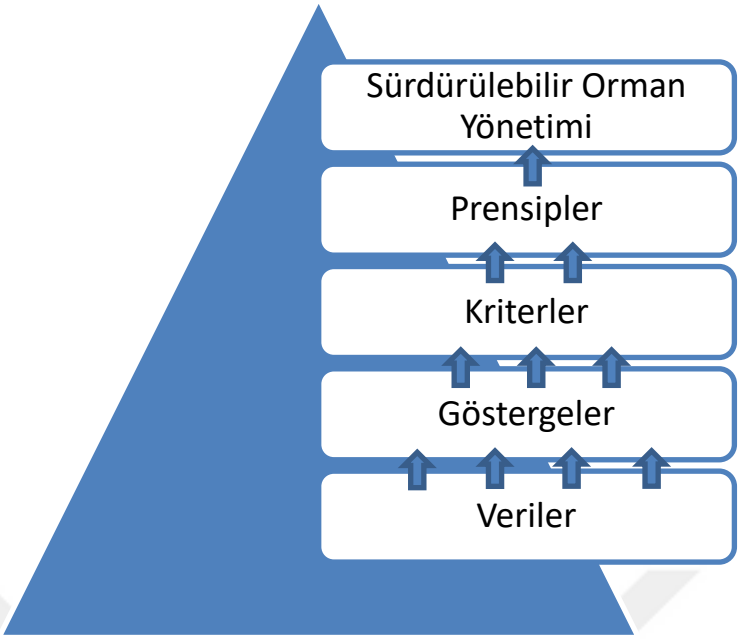
SOY kavramı Rio Zirvesi'nden sonraki süreçlerde de sürekli vurgulanmış ve zaman içerisinde altı doldurularak zenginleştirilmiştir. Bu anlayış birçok gelişmiş ülke tarafından içselleştirilmiş ve orman amenajman planlama sistemlerine yansıtılmaya çalışılmıştır. Bu şekilde yönetilen orman kaynaklarının ekonomik, ekolojik ve sosyal değerlerinin dengelenmesi mümkün hale gelmektedir (Şekil 6). Bu yönüyle SOY, ekonomik açıdan mümkün, ekolojik açıdan uygun, sosyal açıdan yararlı bir işletmecilik anlayışı ile sürdürülebilirliği −en azından teorik olarak− garanti altına almış olmaktadır (Asan, 2017). Dolayısıyla, Türkiye'nin de taraf olduğu ve imza koyduğu uluslararası antlaşmalar ve diğer çevresel süreçler bağlamında sadece orman ürünleri üretiminin değil, erozyonu önleme gibi ekolojik hizmetlerin de sürdürülebilirliğinin sağlanması esasında bir tercihten çok yasal zorunluluktur (Otrakçıer, 2008).

SOY'nin hiyerarşik bir yapısı vardır. Bu yapı; uluslararası ormancılık prensipleri, bu prensipleri teşkil eden kriterler, kriterlerin değerlendirilmesini sağlayan göstergeler ve bu göstergeleri oluşturan veri kümelerinden oluşur (Şekil 7). SOY'ni vücuda getiren bu elemanlar, SOY anlayışı ile teorik olarak garantilenmiş olan sürdürülebilirliğin gerçek hayatta pratiğe dökülebilmesi için gereklidir. Çünkü Rio Zirvesi'nde alınan kararlar ve SOY tanımının kağıt üzerinde yapılması orman ekosistemlerinin sürdürülebilirliği için yeterli olamamaktadır. Bu kararların sahada uygulanabilmesi, somut kriter ve göstergelerin (K&G) bölgesel düzeylerde belirlenmesi ile mümkündür

(Asan, 2013a). Nitekim, dünya üzerinde değişik iklim ve coğrafi kuşaklarda bulunan orman ekosistemlerinin yapıları ve ihtiyaçları birbirinden çok farklıdır. Küresel ölçekte kabul görmüş tek bir K&G seti yoktur. Dolayısıyla K&G'ler her bölgenin ekolojik, ekonomik, sosyal ve idari koşullarına göre geliştirilip, zamanla revize edilmelidir (EFI, 2013). Bu bağlamda 150'den fazla ülkenin içinde yer aldığı dokuz ayrı bölgeye ait uluslararası süreçler başlatılmıştır (Rametsteiner ve Simula, 2003). Her bölgenin kendi koşullarına uygun K&G'leri belirlediği söz konusu süreçler incelendiğinde; aralarında önemli farklılıkların bulunmadığı ve genel olarak "ekosistem entegrasyonu" ve "insanlığın refahı ve geleceği" temel prensipleri üzerine oturdukları görülmektedir (Castaneda, 2000). Türkiye farklı bölgeler arasındaki geçiş kuşağında yer aldığı için hem Pan−Avrupa hem de Yakın−Doğu süreçleri içerisinde faaliyetlerini sürdürmektedir. 2008 yılında yenilenen son amenajman yönetmeliğine göre ülkemizdeki orman amenajman planları SOY prensiplerine uygun olarak yapılmak zorundadır (OGM, 2008; Asan, 2017).



Şekil 6. Orman ekosistemlerine ait değerlerin (fonksiyonların) dengelenmesi (Resolution H1 1993'ten değiştirilerek)



Şekil 7. Sürdürülebilir Orman Yönetimi hiyerarşisi (OGM 2010'dan değiştirilerek)

1.3.1. Dünyada SOY Kriter ve Göstergeleri

SOY K&G'leri; orman kaynaklarının mevcut durumunu ve SOY için kaydedilen ilerlemeleri değerlendirmeye yardımcı olan araçlardır. Bunlar uluslararası, bölgesel, ulusal ya da uygulama birimi (orman işletmeleri) düzeyinde geliştirilebilirler. Ancak ulusal düzeyde geliştirilecek K&G'ler için uyulması gereken bir takım kurallar vardır. Uygun ve geçerli bir K&G seti; ölçülebilir, raporlanabilir ve doğrulanabilir olmalıdır (UNFCCC, 2013; Asan, 2015). Aksi takdirde farklı ülkelerin sundukları periyodik raporların tutarlı şekilde karşılaştırılması mümkün değildir. Söz konusu kurallara uygun olarak geliştirilecek K&G'lerden sağlanan faydalar Tablo 2'de farklı düzeyler itibariyle sıralanmaktadır.

SOY için tüm dünya tarafından tanınan ve kabul gören altı temel kriter mevcuttur. Bunlar (FAO/ITTO, 2004; Asan, 2017);

- Orman kaynaklarının küresel karbon döngüsüne katkısının korunması
- Orman sağlığı ve hayatiyetinin korunması
- Ormanların üretim fonksiyonlarının korunması
- Biyolojik çeşitliliğin korunması ve ölçülebilir göstergelere göre iyileştirilmesi

- Ormanların koruma fonksiyonlarının güçlendirilmesi (toprak ve su kaynaklarının korunması)
- Ormanların sosyo-ekonomik fonksiyonlarının korunmasıdır.

Tablo 2. SOY'ne ait kriter ve göstergelerin rolü (Forest Europe, 2011)

Düzey (ölçek)	Kriter ve göstergelerin rolü
(1) Uluslararası ve/veya bölgesel	(1.1) Ormanların durumu ve yönetimiyle ilgili bilgilerin toplanması, sınıflandırılması, analiz edilmesi, raporlanmasına altlık oluşturma (1.2) Ulusal politika ve programları formüle eden karar vericilere uluslararası referans sağlama (1.3) Çevreyle ilgili sorunların görüşüldüğü uluslararası ormancılık politikası müzakerelerine destek olma (1.4) SOY için ülkeler arasında ortak bir dil ve anlayış oluşturma (1.5) SOY faaliyetleri üzerine uluslararası işbirlikleri için temel oluşturma
(2) Ulusal ve yerel	(2.1) Ulusal orman trendlerini ve değişimlerini tanımlama, izleme ve raporlama (2.2) SOY'a dair ilerlemeleri değerlendirme ve tehditleri tanımlama (2.3) Ulusal orman politikası, plan ve programlarının geliştirilmesi ve değerlendirilmesi anlamında destek (2.4) Ormancılıkla ilgili sektörler arası veri toplamaya temel oluşturma (2.5) Yetersiz bilginin olduğu alanlarda araştırma faaliyetlerine mercek tutma
(3) Orman işletmesi	(3.1) İşletmenin değerlendirilmesi, orman izinlerinin denetimi ve sertifikasyonla ilgili sorunların açıklığa kavuşturulması (3.2) Orman sertifikasyon sistemlerinin geliştirilmesi için temel oluşturma

Bazı bölgesel süreçlerde "politik, yasal ve kurumsal çerçeve" de 7. kriter olarak kabul görmektedir. SOY'nin bu temel kriterleri farklı ülkelere ya da bölgelere göre kolaylıkla değişiklik göstermezler ancak zaman içerisinde değişen şartlara göre güncellenebilirler. Bu bağlamda, SOY kriterleri bir bakıma sürdürülebilirliğin anahtarlarını teşkil ederler (OGM, 2010). Ayrıca şunu da ifade etmek gerekir ki; bu çalışmanın konusuyla da doğrudan bağlantılı olan "ormanların koruma fonksiyonları" kriteri denince öncelikle toprak ve su koruma fonksiyonları anlaşılmalıdır (Köse, 2008; Forest Europe, 2011). Nitekim, Pan−Avrupa başta olmak üzere birçok uluslararası süreçte bu kriter parantez içerisinde "*notably soil and water*" olarak geçmektedir. Toprak koruma ve su koruma (hidrolojik) fonksiyonunun bir arada ele alınmasının nedenleri ise iki fonksiyonun çoğu zaman örtüştüğü ve bunları birbirinden ayırmanın teknik zorluklarıdır (San-Miguel-Ayanz ve ark., 2011). Avrupa'daki bazı

ülkeler ormanların toprak ve su koruma fonksiyonlarına ait göstergelerini birbirinden net olarak ayıramadıkları için her ikisini toplu olarak raporlamaktadırlar (Forest Europe, 2011).

Orman ekosistemlerinin altı temel kriter bakımından aktüel durumunu değerlendirebilmek için her bir kritere ait ölçülebilir göstergelerin olması gerekmektedir. Bu göstergeler −kriterlerin aksine− farklı ülke ve bölgeler itibariyle değişiklik gösterebilmektedirler. Örneğin, ciddi erozyon problemi olmayan bir ülkede "ormanların koruma fonksiyonları" kriterine ait göstergelerden "toprak korumaya ayrılan ormanların toplam alanı (ha)" yeterli görülürken; şiddetli erozyona maruz kalan diğer bir ülkede aynı kritere ait gösterge "toprak korumaya ayrılan ormanlardaki yıllık ortalama toprak kaybı miktarı (ton)" olabilmektedir.

Türkiye'nin de içinde yer aldığı uluslararası süreç olan Pan−Avrupa sürecine ait kriterlerin altındaki göstergeler Tablo 3'te görülebilir. Burada altı temel kritere ait toplam 34 gösterge bulunmaktadır. Bu çalışmanın odak noktasını oluşturan göstergelerden 5.1 numaralı "Koruyucu ormanlar – toprak, su ve diğer ekosistem fonksiyonları"nın tanımı; *"toprak erozyonunu önleme, su kaynaklarını koruma veya diğer orman ekosistem fonksiyonlarını sürdürmek için ayrılıp ona göre işletilen orman alanları ve diğer ağaçlık alanlar"* (s. 100) şeklinde yapılmaktadır (Forest Europe, 2011).

Göstergeler; kantitatif, kalitatif ve tanımlayıcı olarak üç grup altında sınıflandırılabilir. Örneğin; 1000 ha'lık orman alanı, rakamla ifade edilebilen kantitatif (nicel) bir göstergedir. Diğer taraftan verimsiz orman, düşük ağaç serveti ya da şiddetli toprak kaybı ise kalitatif (nitel) göstergelerdendir. Dalgalı satışlar ise tanımlayıcı göstergelere güzel bir örnek oluşturur. Göstergelerin önemli bir diğer görevi; ilgili fonksiyonların sayısallaştırılmasına hizmet etmeleridir. Bu yönüyle birincil ve ikincil göstergeler olarak farklı bir sınıflandırma da yapılabilir (Egoh ve ark., 2012). Örneğin; birim alanda yıllık önlenen toprak kaybı miktarı erozyonu önleme fonksiyonunun birincil göstergesi iken; arazi örtüsü ya da yamaç eğimi ikincil gösterge sınıfına girer (Vatandaşlar ve ark., 2020). Birincil göstergelerin kullanıldığı çalışmalar ikincil göstergelere göre her zaman daha güvenilirdir (Egoh ve ark., 2012). Bu nedenle, eğer

teknolojik, ekonomik vd. kısıtlar yoksa her zaman birincil ve kantitatif göstergeler tercih edilmelidir.

Tablo 3. Pan−Avrupa sürecine ait SOY kriter ve göstergeleri (Forest Europe, 2011)

Kriterler	Göstergeler
(1) Orman kaynakları ve bunların küresel karbon döngüsüne katkısı	(1.1) Orman alanı ve diğer ağaçlık alanların büyüklüğü
	(1.2) Ağaç serveti
	(1.3) Yaş sınıfları ve/veya çap sınıfları dağılımı
	(1.4) Karbon stoğu
(2) Orman ekosistem sağlığı ve hayatiyetinin korunması	(2.1) Havadaki kirleticilerin birikimi
	(2.2) Toprak durumu
	(2.3) Yaprak dökme
	(2.4) Orman zararı
(3) Ormanların üretim fonksiyonlarının sağlanması ve geliştirilmesi	(3.1) Artım ve kesim miktarları
	(3.2) Yuvarlak odun üretimi
	(3.3) Odun Dışı Orman Ürünleri üretimi
	(3.4) Hizmetler
	(3.5) Amenajman planlarıyla işletilen ormanların oranı
(4) Orman ekosistemlerindeki biyoçeşitliliğin korunması ve geliştirilmesi	(4.1) Ağaç türü kompozisyonu
	(4.2) Gençleşme
	(4.3) Doğallık durumu
	(4.4) Tanımlanmış ağaç türleri
	(4.5) Ölü odun miktarı
	(4.6) Genetik kaynaklar
	(4.7) Arazi deseni
	(4.8) Tehdit altındaki orman türleri
	(4.9) Korunan ormanların miktarı
(5) Orman yönetiminde koruyucu fonksiyonların sağlanması ve geliştirilmesi	(5.1) Koruyucu ormanlar (Toprak, su ve diğer ekosistem fonksiyonları)
	(5.2) Koruyucu ormanlar (Altyapı ve işletilen doğal kaynaklar)
(6) Diğer sosyoekonomik fonksiyonların sağlanması	(6.1) Orman sahipleri
	(6.2) Ormancılık sektörünün GSMH'ya katkısı
	(6.3) Net gelir
	(6.4) Hizmetler için yapılan masraflar
	(6.5) Ormancılık sektörünün işgücü
	(6.6) İş sağlığı ve güvenliği
	(6.7) Odun tüketimi
	(6.8) Odun ticareti (ihracat/ithalat)
	(6.9) Odun kaynaklarından sağlanan enerji miktarı
	(6.10) Rekreasyonel alanlara erişim

K&G'lerin gerçek hayatta uygulanabilmesi için belirli iş aşamaları vardır. Bunlar sırasıyla; (i) herhangi bir düzeyde K&G'lerin belirlenmesi, (ii) bunların ölçülmesi, (iii)

izlenmesi, (iv) değerlendirilmesi ve (v) raporlamadır (OGM, 2008). Dolayısıyla söz konusu göstergelerin doğru bir şekilde tanımlanıp, her yıl uygulama birimi düzeyinde ölçümü çok önemlidir. Çünkü bu ölçümlerin değerlendirilmesi sonucunda uluslararası kuruluşlara periyodik olarak yapılacak ulusal raporlamalar SOY'nin esasını teşkil eder. Bu yüzden göstergeler, SOY sürecinin kilit noktasıdır. Bu süreçte göz ardı edilmemesi gereken diğer bir nokta ise katılımcılıktır. Şeffaf ve katılımcı bir anlayışla yani ortak akılla yürütülmeyen iş akış süreçlerinin başarıya ulaşma şansı oldukça azdır (Erdoğan, 2010).

1.3.2. Türkiye İçin Geliştirilmiş SOY Kriter ve Göstergeleri

Türkiye, dahil olduğu uluslararası süreçler kapsamında SOY için ilk ulusal K&G setini geliştirme çalışmalarına 1999 yılında başlamış ve 2006 yılında tamamlamıştır (Asan, 2013a). Buradaki amaç; *"ülke ormanlarımızın genel durumunun belirlenmesi, üst düzey politik kararların alınması, makro planlamanın şekillendirilmesi ve bunların uluslararası platformlara raporlanmasıdır."* (s. 45) (OGM, 2010). Bu amaç uyarınca 2017 yılında yeni bir çalışma daha başlatılmış ve ülke ormanlarımız için altı kriter ve 40 nicel gösterge belirlenmiştir (Tablo 4). OGM'nin SOY Bilgi Notu ve Kılavuzu'nda söz konusu K&G'lerin belirlenmesinde üç ana sorunun önem kazandığı belirtilmektedir: (i) Hangi göstergeler ülkemiz şartlarında anlamlı değildir?, (ii) Hangi göstergeler anlamlıdır ancak ölçülmesi ve raporlanması mümkün değildir? ve (iii) Hangi göstergelerin OGM K&G setine dahil edilmesi gerekir? (OGM, 2010). Bu sorular etrafında şekillenen süreçte OGM, görev ve yetki alanına giren göstergelerden oluşan formları tüm Orman İşletme Müdürlükleri'ne (OİM) göndermiştir. Raporlamanın OİM düzeyinde yapılmasının nedeni; ülkemizdeki hemen tüm ormancılık faaliyetlerinin ve bu faaliyetler ekseninde oluşan ilişkilerin OİM'de yoğunlaşmış olmasıdır. Bu konu ayrıca OGM hizmet içi eğitim programlarına da dahil edilmiş ve bu kapsamda Gümüldür, Fethiye ve Bursa'da eğitimler verilmiştir (OGM, 2010). Diğer yandan, Asan (2013a) OGM tarafından geliştirilen K&G'leri SOY açısından olumlu görmekle beraber hala bir takım eksik ve yetersiz göstergelerin bulunduğunu bildirmektedir. Bu eksiklikler zaman içerisinde yapılacak yeni bilimsel çalışmalarla giderilebilir. Nitekim, OGM'nin belirlediği K&G'ler yalnızca asgari bir settir ve katılımcı bir anlayışla geliştirilmeye açıktır (Otrakçıer, 2008).

Tablo 4. SOY kapsamında Türkiye için geliştirilmiş nicel K&G'ler (OGM, 2020)

Kriterler	Göstergeler	
(1) Orman kaynakları ve küresel karbon döngüsüne katkısı	(1.1)	Ormanlık ve diğer ağaçlık alanlar
	(1.2)	Dikili ağaç serveti ve artım
	(1.3)	Karbon stoku
	(1.4)	Orman kadastrosu
	(1.5)	Ormanlık alanların yönetimi
(2) Ormanların sağlığı, canlılığı ve bütünlüğü	(2.1)	Doğal faktörlerden etkilenen ormanlar
	(2.2)	Silvikültürel faaliyetler
	(2.3)	İnsan kaynaklı zararlar
	(2.4)	Otlatma zararı
	(2.5)	İzin irtifaklar
	(2.6)	Ormanlarda hava kirliliği ve iklim değişimi
	(2.7)	Orman yolları ve tesisler
(3) Ormanların üretim kapasitesi ve fonksiyonları	(3.1)	Artım ve üretim
	(3.2)	Odun dışı orman ürünleri ve hizmetler
	(3.3)	Sertifikalı orman
(4) Orman biyolojik çeşitliliği	(4.1)	Ağaç tür çeşitliliği
	(4.2)	Gençleştirme
	(4.3)	Doğallık
	(4.4)	Tanıtılan ağaç türleri
	(4.5)	Ölü odun
	(4.6)	Gen kaynakları
	(4.7)	Ormanların parçalara ayrılması
	(4.8)	Tehdit altındaki orman türleri
	(4.9)	Korunan ormanlar
	(4A)	Yaygın orman kuş türleri
	(4B)	Yaygın memeli hayvan türleri
(5) Ormanların koruyucu fonksiyonları	(5.1)	Toprak koruma ormanları
	(5.2)	Su koruma ormanları
	(5.3)	Doğal afet ve altyapı koruma ormanları
(6) Ormanların sosyo-ekonomik fonksiyonları	(6.1)	Ormancılık sektörünün GSYİH'a katkısı
	(6.2)	Orman ürünleri arz talep dengesi
	(6.3)	Sektörde istihdamın büyüklüğü ve niteliği
	(6.4)	Ormancılığın finansal dengesi
	(6.5)	Bütçeden ormancılık sektörüne ayrılan pay
	(6.6)	Ormana bağımlı toplumun büyüklüğü
	(6.7)	Rekreasyon hizmetinden faydalananlar
	(6.8)	Orman köylüsüne gelir transferi
	(6.9)	Ar-Ge yayım ve eğitim çalışmaları
	(6A)	Ormancılıkla ilgili STK'ların faaliyetleri
	(6B)	Orman-toplum uyuşmazlıkları

Tablo 4'teki K&G'ler incelendiğinde, diğer uluslararası süreçlerde geliştirilen ve Forest Stewardship Council (FSC) tarafından belirlenen göstergelerle büyük

benzerliklerin olduğu göze çarpmaktadır. K&G numarası farklı olmakla beraber içerikler temelde aynıdır. FSC hariç tutulduğunda, diğer kuruluş ve süreçlerin toprak korumaya ayrılan alanların yalnızca büyüklüğüyle ilgilendiği görülmektedir. Örneğin; 2019 yılı itibariyle Türkiye'deki ormanlık alanlardan 5320937 ha'ın (toplam ormanlık alana oranı %23,4) erozyonu önleme fonksiyonuna ayrıldığını belirtmenin ve her yıl bu değeri güncellemenin, ülkemizde SOY'nin ilgili kriteri için yeterli olduğu düşünülmektedir (OGM, 2010; 2020). Söz konusu gösterge *ölçülebilir, raporlanabilir ve doğrulanabilir* olma kuralına uygun olmasına rağmen bazı bölgeler için yetersiz kalabilir. Nitekim, bu gösterge ile erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılan alanlarda yapılacak sınırlı ormancılık faaliyetlerinin etkinlik düzeyi hakkında herhangi bir nicel yargıya (korunan toprak miktarı (t ha^{-1} $yıl^{-1}$), gençleştirme başarısı (%) vd.) ulaşılamamaktadır. Oysa, Avrupa Çevre Ajansı (EEA) adına hazırlanan Ekosistem Hizmetlerinin Uluslararası Ortak Sınıflandırması (CICES)'na göre; bu göstergenin korunan alan miktarı yanı sıra, erozyon riskindeki düşüş (yerinde tutulan toprak miktarı) hakkında da bilgi sunması gerekmektedir (Haines-Young ve Potschin, 2013). Fakat OGM raporlama cetvelinde de görüldüğü gibi, ülkemizde sadece toprak korumaya ayrılan alanların yıllar içerisindeki değişimi analiz edilebilmektedir (Tablo 5). Halbuki Köse (2008)'ye göre, Türkiye gibi ortalama yükseltisi Avrupa ve Asya kıtalarından daha yüksek olan ve yüzölçümünün %80'inde farklı şiddetlerde erozyon görülen bir ülkede toprak ve su korumaya daha fazla önem verilmelidir. Bunun yolu; içerisine ormanın koruyucu fonksiyonlarının da entegre edildiği ekosistem tabanlı fonksiyonel amenajman planlarından geçmektedir. Dolayısıyla uygun bir entegrasyon stratejisi ile ormanların erozyonu önleme fonksiyonuyla ilgili yeni ve kullanışlı göstergeler geliştirmek gereklidir. Diğer taraftan, Brandli ve Duc (2009) ve Blattert ve ark. (2017) gibi birçok araştırmacının da belirttiği gibi dünyadaki mevcut SOY K&G'leri ulusal ölçekteki meseleleri içermektedir. Bu nedenle, planlama ünitesi veya meşcere düzeyinde alınacak kararlar için uygun değildirler. Aynı araştırmacılar söz konusu K&G'lerin ormanların koruyucu fonksiyonları hakkında yeterli bilgi sağlamadıklarını ve bu konuda yeni göstergelerin geliştirilmesini önermektedirler. Görüldüğü gibi bu alanda hala önemli boşluklar vardır ve kısa sürede doldurulmalıdır.

Tablo 5. Türkiye'nin SOY raporlama cetveline ait bir tablo (OGM, 2010)

GÖSTERGE 3 Toprak Muhafaza Alanları

Tablo 53(ha)

KOD		Evvelki yıllar ortalaması	2007	2008	Değişim(%)
53.T	Toprak muhafaza alanları				

1.3.3. SOY'nin Uygulamaya Aktarılması ve Planlama Sistemleri

SOY anlayışı; *"...orman kaynaklarının işletilmesinde toplumun bugün ve gelecekte ormanlardan beklediği ekolojik, ekonomik ve sosyal fonksiyonları yerel, bölgesel ve küresel düzeylerde, diğer ekosistemlere zarar vermeden ve orman ekosistemlerinin sahip olduğu alansal büyüklüğü, biyolojik çeşitliliği, doğal verim gücünü, gençleşme kapasitesini ve sağlığını kaybetmeden kullanımını devam ettirecek şekil ve yoğunlukta bir planlama" (s. 36)* öngörmektedir (Asan, 2017). Böyle bir planlama, uygun bir şekilde geliştirilmiş K&G setlerinden daha fazlasına ihtiyaç duyar. Çünkü ormanlardan faydalanmanın düzenlenmesinin SOY çerçevesinde yapılabilmesi; planlama birimlerindeki orman kaynaklarından beklenen işletme amaçlarını gerçekleştirebilecek optimum orman formlarının ve işletme şekillerinin ormanın yetişme ortamı verim gücünü zorlamayacak ve ekosistem bileşenleri arasındaki dengeyi bozmayacak şekilde harmanlanmasına, sonra da hedef meşcere kuruluşlarına ulaşabilmek için uygulanması gerekli olan silvikültürel işlemlerin planlama biriminin neresinde, ne zaman ve ne ölçüde uygulanacağını içeren reçetelere sahip olunmasına bağlıdır. Bu bağımlılık, orman amenajmanı alanındaki araştırmacıları planlama sürecini sistem yaklaşımıyla ele almaya itmiştir (Asan ve ark., 2003). Bu amaçla dünyada çeşitli planlama sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemler; (i) planlamada doğanın taklit edilmesini öngören ve uygulamada silvikültürel amaç ve yöntemleri önceleyen *Doğaya Yakın Orman İşletmeciliği* (Çolak ve ark., 2008), (ii) ekosistemin bütünlüğünü ve korunmasını önceleyen, orman dinamiğine göre silvikültürel müdahalelerde bulunan ve vejetasyonun konumsal yapısını sayısal olarak tanımlayan *Ekosistem Planlama* (Baskent ve Yolasigmaz, 1999; Baskent ve Keles, 2005) ve (iii) ormanlardan beklenen fonksiyonları önceleyen, ürün ve hizmetlerin devamlılığını birlikte ele alan ve planlamayı zaman−mekan düzenine bağlayan *Fonksiyonel*

Planlama'dır (Asan, 1990). Her üç sistem de tıpkı SOY kavramı gibi son 30 yıl içerisinde ortaya çıkmış, zaman içerisinde evrilmiş ve evrilmeye de devam etmektedir. Ülkemiz, söz konusu üç farklı sistemin olumlu özelliklerinin alınarak harmanlanması ile oluşan *Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Planlama* (ETFOP) sistemini kullanmaktadır. Türkiye'de fonksiyonel planlama sistemi çok daha eskilere dayanmasına rağmen (Asan, 1990; Asan ve Yeşil, 1993), ETFOP kavramı ilk kez 2008 yılında yenilenen Orman Amenajmanı Yönetmeliği'nde mevzuata girmiş ve 2014 yılında çıkarılan 299 sayılı amenajman tebliğinde uygulama esasları düzenlenmiştir (OGM, 2008; Başkent, 2015). Bundan üç yıl sonra 299 sayılı tebliğde bir takım değişiklikler yapılarak mevzuat güncellenmiş ve bu haliyle günümüze kadar gelmiştir (OGM, 2017).

ETFOP; *"orman ekosistemlerinde kendiliğinden oluşan ürün ve hizmetleri, bu sistemleri oluşturan canlı ve cansız elemanların varlığını yok etmeden ve aralarındaki doğal süreçleri zedelemeden, Orman Amenajman Disiplininin temel ilkelerini ve plan ünitelerinde öne çıkan konumsal fonksiyonları gözeterek sürekli ve kesintisiz biçimde alabilmek için plan ünitelerinde öngörülen teknik, biyolojik, sosyal ve ekonomik etkinlikleri uzun ve orta vadeli stratejik öngörüler çerçevesinde yer ve zamana bağlı olarak düzenleyen bir planlama sistemi"* (s. 193) olarak tanımlanmaktadır (Asan ve ark., 2007). Daha güncel bir başka çalışmada ise aynı sistem Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama (ETÇAP) olarak anılmış ve *"orman ekosisteminin; ekolojik, ekonomik ve sosyo-kültürel değerlere göre tanımlandığı, ihtiyaç ve beklentilerin paydaşların etkin ve yapısal katılımcılıkla belirlendiği, kaynakların ve biyoçeşitliliğin dökümünün yapıldığı, konumsal veri tabanının kurulduğu, işletme amaçları ve koruma hedeflerinin belirlendiği, ulusal ve uluslar arası ilkelere göre plan seçeneklerinin oluşturulduğu ve karar verme teknikleri ile de amaçların eniyilendiği yeni bir planlama yaklaşımı"* (s. 3) şeklinde tanımlanmıştır (Başkent, 2015). Başkent (2015), bu planlama sisteminin beş önemli bileşenine vurgu yapmaktadır. Bunlardan birincisi, biyoçeşitlilik koruma ve karbon depolamanın temel alındığı orman dinamiğinin oluşturulmasıdır ki, ulusal SOY setinin birinci ve dördüncü kriterlerini teşkil etmektedir (OGM, 2020). İkinci bileşen, tüm planlama sürecinin katılımcı yaklaşımla ele alınması gerekliliğidir. Böylece SOY'nin altıncı kriterinin sağlanmasına katkı sunulmuş olur. Çok amaçlı fonksiyonel planlama anlayışı üçüncü bileşeni

oluşturmaktadır. Bu bileşen aynı zamanda SOY'nin ekonomik, ekolojik ve sosyokültürel fonksiyonları dengeleme temel felsefesiyle uyumludur. Dördüncü bileşen, bilimsel karar verme teknikleri ve bilişim teknolojilerinin etkin kullanımı olarak tanımlanabilir ki, çeşitli fonksiyon gruplarının kombine edilerek koruma−kullanma dengesinin daha başarılı kurulmasına yardımcıdır. Son olarak konumsal planlama ve ekonomi odaklı işletmecilik bileşenleri öne çıkmaktadır. Bu da SOY'nin birinci ve üçüncü kriterlerini karşılamaktadır. Görüldüğü gibi ETFOP sistemi SOY için gerekli olan birçok kriteri kendiliğinden karşılamaktadır. Dolayısıyla SOY'nin uygulamaya aktarılması kağıt üzerinde değil gerçek anlamda ETFOP ile hazırlanacak orman amenajman planlarına bağlıdır. Bu nedenle, tüm orman fonksiyonlarının sayısallaştırılarak bunlara ait performans göstergelerinin belirlenmesi ve bu göstergelerin ormanın yapısal özellikleriyle (meşcere kuruluşu) ilişkilendirilmesi gerekmektedir.

1.3.3.1. Orman Fonksiyonları ve Sınıflandırılması

Orman fonksiyonu; orman ekosistemlerinin biyofiziksel yapısı (canlı ve cansız bileşenleri) ve doğal ekolojik süreçler arasında oluşan etkileşim sürecinde kendiliğinden ortaya çıkan ve insanoğlunun fayda sağlayabileceği çeşitli ürün ve hizmetlerdir (Burkhard ve Maes, 2017). Ekosistemin kapasitesini belirleyen bu ürün ve hizmetler toplum tarafından da talep edildiği takdirde orman fonksiyonu işletme amacı haline gelir (Köse ve ark., 2001; Başkent, 2008). Orman fonksiyonu ve işletme amacı arasındaki bu yakın ilişki dolayısıyla orman planlama sürecinin ilk aşamalarından biri işletme amaçlarına yönelik fonksiyonların belirlenmesidir (Asan, 2013a). Toplumların ormanlardan beklediği fayda ve fonksiyonlar zaman içerisinde değişip çeşitlenir. Bu durum bazı fonksiyonların belli dönemlerde daha fazla önem kazanmasına ya da yeni orman fonksiyonlarının ortaya çıkmasına neden olabilir. Örneğin; son dönemlerde tüm dünyanın odağında olan küresel iklim değişimi sorunu ormanların iklim koruma fonksiyonuna daha fazla önem kazandırmış ve yeni bir fonksiyon olarak karbon depolamayı ön plana çıkarmıştır.

Ormanlardan faydalanmanın düzenlenmesi aşamasında ön plana çıkan fonksiyon ve işletme amaçlarının net olarak belirlenerek orman kaynaklarının buna göre işletilmesi gerekmektedir. Bu amaçla planlama birimi (orman işletme şefliği) ölçeğinde orman

fonksiyon haritaları hazırlanır. Orman fonksiyon haritaları, plan birimindeki ormanlık alanlarda hangi orman fonksiyonu ya da fonksiyon gruplarının nerelerde daha fazla önem kazandığını gösteren teknik haritalardır. Bu haritalar düzenlenirken her bir fonksiyon diğerinden bağımsız olarak ele alınmalıdır (Asan, 2013a). İlgili fonksiyonun sınırları doğal hatlar (dere, sırt, yol vd.) ve meşcere sınırları esas alınarak çizilir. Diğer renklendirme ve tarama işlemleri 299 sayılı tebliğ ekinde yer alan "Amenajman Plan Haritaları Yapım İzahnamesi" uyarınca CBS ortamında tüm Türkiye'de standart olarak gerçekleştirilir (OGM, 2017).

Orman amenajman planlarında fonksiyonların doğru belirlenmesi çok önemlidir çünkü fonksiyonel alanların ayrılmasındaki temel amaç bu alanların bağımsız birer işletme sınıfı olarak değerlendirilmesidir (OGM, 2017). Nitekim, işletme amaçları ve koruma hedefleri işletme sınıfı düzeyinde şekillenecek ve süreklilikleri sağlanacaktır. Ormancılık pratiği açısından fonksiyonel alanların diğer bir önemi de; bu alanlarda uygulanacak silvikültürel reçetelerin farklılığıdır. Her orman fonksiyonunu en iyi biçimde yerine getiren meşcere kuruluşları birbirinden farklıdır. Dolayısıyla haritalanan fonksiyon alanlarının her biri silvikültürel açıdan ayrı birer teknik işlem ünitesidir (Asan, 2013a). Amenajman planı yapım aşamasında orman fonksiyonları belirlenirken öne çıkan ve dikkat edilmesi gereken unsurlar aşağıdaki gibidir (OGM, 2017; Şengönül ve Şahin, 2017):

- Kanuni ölçüt ve göstergeler (tabiat alanları, uluslararası sözleşmeler vd.)
- Teknik−bilimsel ölçüt ve göstergeler (topografya, hedef türler, çığ, eğim vd.)
- Sosyoekonomik ölçüt ve göstergeler (toplum talebi, rekreasyon, bilimsel araştırma vd.)
- Katılımcı kurum ve kuruluşların görüşleri
- Ormanın mevcut durumu ve fiili kullanımı
- Orman ürünleri üretiminde olumsuz etkilenecek ekosistem
- Ormanın sunduğu ve toplumsal olarak ihtiyaç duyulan orman ürünü dışındaki hizmetler (taş ve kaya yuvarlanmalarını önleme)
- Toplumun orman ürünlerine olan ihtiyacı

Orman fonksiyonları çeşitli kaynaklarda farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır (Henne, 1972; Kroth ve ark., 1976; Kapucu, 2004; Asan, 2013a). Söz konusu sınıflandırmaların zamana ve araştırmacıların yaşadıkları ülkenin önceliklerine göre değişiklik gösterdiği anlaşılmaktadır. Kimi araştırmacılar fonksiyonları mekan ya da talep yönünden sınıflandırırken, diğerleri planlama tekniği yönünden sınıflandırmayı tercih etmişlerdir. Fakat Rio Zirvesi ve onun ardından başlayan Helsinki süreci ile orman ekosistemlerinin gördüğü fonksiyonlar; ekonomik, ekolojik ve sosyokültürel olarak üç ana grup altında toplanmış ve bu sınıflandırma küresel ölçekte kabul görmüştür (Resolution H1, 1993; OGM, 2017). *Ekonomik fonksiyonlar*; ormanların odun ve odun dışı orman ürünleri (ODOÜ) üretim hizmetlerini kapsamaktadır. Bunlar fiziksel ve parasal değerlerle kolaylıkla kavranabilmekte ve genellikle belirli standartlara sokulabilmektedirler. *Ekolojik fonksiyonlar* denildiğinde; ormanların doğal çevreye yaptıkları olumlu katkılar anlaşılır. Bu katkıların pazarı olmadığı için parasal anlamda kavranmaları güçtür (Kapucu, 2004). *Sosyokültürel fonksiyonlar* ise; ormanların toplum sağlığına, mutluluğuna, kültürüne ve gelişimine sağladığı her türlü katkıdır. Bu katkıların sayısallaştırılması da tıpkı ekolojik fonksiyonlar gibi oldukça zordur. OGM'nin SOY K&G 2019 Türkiye Raporu'na göre (OGM, 2020); Türkiye orman varlığının yaklaşık 9,5 milyon ha'lık kısmı ekonomik fonksiyon görecek şekilde planlanıp işletilmektedir. Geriye kalan %58'lik kısım ise ekolojik ve sosyokültürel fonksiyonlara ayrılmıştır.

Sayılan ana fonksiyonlar altında 10 genel orman fonksiyonu tanımlanmaktadır. Bunlar; (i) orman ürünleri üretimi, (ii) doğayı koruma, (iii) erozyonu önleme, (iv) iklim koruma, (v) hidrolojik, (vi) toplum sağlığı, (vii) estetik, (viii) ekoturizm ve rekreasyon, (ix) ulusal savunma ve (x) bilimsel fonksiyonlardır (Eraslan, 1982). Bu fonksiyonların altında ise toplam 54 adet işletme amacı ya da koruma hedefi bulunur (OGM, 2017). Tablo 6'da Türkiye ormancılığında kullanılan orman fonksiyonları, işletme amaçları ve koruma hedeflerine ait sınıflandırma hiyerarşisi görülebilir. Genel orman fonksiyonlarına ait kısa tanımlama ve örnekler ise tablonun devamında yer almaktadır.

Tablo 6. Orman fonksiyonları, işletme amaçları ve koruma hedefleri (OGM, 2017)

Ana Orman Fonksiyonları	Genel Orman Fonksiyonları	İşletme Amaçları & Koruma Hedefleri
1- EKONOMİK	Orman Ürünleri Üretimi	En yüksek miktarda endüstriyel odun üretimi Kaliteli ve özellikli odun üretimi En yüksek miktarda yapacak odun üretimi Yakacak odun üretimi Diğer (Özel ağaçlandırma vb.) Odun dışı orman ürünleri üretimi Basralı alanlar ve bal üretim ormanları Bitkisel ürünler Hayvansal ürünler Su ve mineral ürünler Otlatma alanları
2- EKOLOJİK	Doğayı Koruma	Doğayı koruma Gen koruma ormanı Milli parklar Muhafaza ormanı Tabiat parkı Tabiatı koruma alanları Yaban hayatı geliştirme sahaları Alpin zonu Doğal yaşlı ormanlar Yetişme yeri çok kötü alanlar Yüksek koruma değeri taşıyan alanlar Yüksek dağ ekosistemi Tohum meşcereleri Sosyal baskılı alanlar Su kenarı koruma alanları Orman ekosistemi izleme alanları OGM yaban hayatı koruma ve yönetim Biyolojik çeşitlilik koruma ve geliştirme Ziyaret alanları
	Erozyonu Önleme	Çığ önleme Heyelan önleme Taş ve kaya yuvarlanmayı önleme Toprak koruma Sel ve taşkın önleme
	İklim Koruma	İklim koruma
3- SOSYAL VE KÜLTÜREL	Hidrolojik	İçme suyu koruma Kullanma suyu koruma Su kaynaklarını koruma
	Toplum Sağlığı	Gürültü önleme Hava kirliliği önleme Şehir ormanları Sağlık tesislerini koruma
	Estetik	Estetik amaçlı perdeleme ve koruma Estetik görünüm (Görsel kalite, silüet vd.)
	Ekoturizm ve Rekreasyon	Doğa spor alanları Rekreasyon Avlak alanları Turizm amaçlı ormanlar
	Ulusal Savunma	Askeri tesis ve tatbikat alanları Ulusal sınır ve stratejik alanlar
	Bilimsel	Eğitim ve araştırma amaçlı ormanlar Arboretum, botanik bahçesi

Orman Ürünleri Üretim Fonksiyonu: Belirli bir maddi değere sahip olan orman ürünleri hammaddesini üretmek ve piyasaların bu ürünlere olan ihtiyaçlarını devamlı bir şekilde karşılamak için ormanlardan sağlanan fonksiyondur (Asan, 1999). Bu fonksiyona ayrılan orman alanlarında genellikle ekolojik koşullar ve ulaşım imkanları lehtedir. Geçmişte orman ürünleri üretim fonksiyonu dendiğinde akla tomruk, direk, sanayi odunu, lif ve selüloz odunu, yakacak odun gibi yuvarlak odunlar gelmekteydi. Günümüzde ise mantar, sahlep, reçine, bal, çam fıstığı, sığla yağı, defneyaprağı ve cehri gibi ODOÜ de yerli ve uluslararası piyasalarda oldukça rağbet görmektedir. Hatta bazı bölgelerde ODOÜ'nden elde edilen maddi kazancın odun hammaddesinden elde edilenden daha fazla olduğunu bildiren çalışmalara rastlamak mümkündür (Palahi ve ark., 2009; Mumcu Küçüker, 2015).

Doğayı Koruma Fonksiyonu: Orman ekosistemlerinde bulunan bilim ve sanat açısından önemli özelliklere sahip, insanların dikkatini cezbeden, flora, fauna, arkeolojik vb. yönlerden değerli ve ender unsurlar içeren doğal peyzaj elemanlarının ormanlar tarafından korunması fonksiyonudur (Asan, 1999). Nesli tükenme tehlikesinde olan yaban hayvanlarını koruma sahaları, doğa ve kültür anıtları, doğal yaşlı orman alanları, kayzerler ve ören yerlerinin korunması bu fonksiyona örnek olarak verilebilir. Orman alanları bu tip ender görülen özellikler gösterdiği için korunabileceği gibi, kendi ekolojik şartlarındaki olumsuzluklar nedeniyle de korunabilirler. Genellikle taşlık, kayalık, sarp ve sub-alpin zona yakın ormanlık alanlar doğayı koruma fonksiyonuna ayrılmakta ve buralarda üretim faaliyeti yapılmamaktadır (OGM, 2017). Ancak doğayı korumak, ormanı kendi kaderine terk etmek olarak algılanmamalıdır. Aksi takdirde doğayı koruma ormanlarının doğal süksesyon seyri boyunca varoluşlarını sürdürebilmeleri tesadüflere bağlı olur. Bu tesadüfler orman ekosistemi açısından lehte ve zamanında gelişmez ise orman kısmen veya tamamen yok olabilir. Dolayısıyla mevcut ekosistemi şoka uğratmadan, bilinçli ve doğaya yakın silvikültürel müdahaleler yardımıyla meşcere yapıları iyileştirilmeli, güçlendirilmeli ve ormanın sürdürülebilirliği garanti altına alınmalıdır (OGM, 2014b). Nitekim, Niese (2011) Avusturya'daki koruma ormanlarının çoğunluğunun oldukça yaşlandığını ve bunların gençleştirilmesiyle ilgili ciddi problemlerin olduğuna dikkat çekmektedir.

Erozyonu Önleme Fonksiyonu: Bu fonksiyon tez çalışmasının ana konusunu oluşturduğu için bir sonraki bölümde ayrı bir başlık olarak ele alınmıştır.

İklim Koruma (Klimatik) Fonksiyonu: Ormanların aşırı sıcaklıkları ılımanlaştırma, yağışların oluşmasını sağlama, rüzgar ve fırtınanın hızını azaltma, rüzgarın kurutucu etkisini giderme, don zararlarını hafifletme, kar savrulmalarını önleme gibi faydalı etkilerinin görüldüğü eylemlerdir (Eraslan ve Şad, 1993). Son dönemlerde karbondioksit (CO_2) gazının küresel iklim değişimindeki payı daha iyi anlaşıldığından ormanların iklim koruma fonksiyonuna daha fazla önem verilmeye başlanmıştır. Nitekim, ormanlar yukarıda sayılan faydalı eylemlerinin yanısıra fotosentez yoluyla CO_2'i absorbe ederek kendi bünyelerinde karbon olarak hapsetmektedirler. Dolayısıyla hammaddesi CO_2 olan bacasız fabrikaların bu fonksiyonunu güçlendirerek atmosferdeki CO_2 tüketimini hızlandırmak mümkündür (Asan, 1999).

Hidrolojik Fonksiyon: Ormanlardan sağlanan yağışın tutulması, su kaynaklarının devamlı şekilde beslenmesi ile akarsu akışlarının düzenli tutulması ve yağmur sularının büyük su kütlelerine doğru yönlendirilmesi gibi hizmetlerdir (Eraslan ve Şad, 1993). Bu sayede küresel su ekonomisi kontrol altında tutulur. Ormanlar bu yönüyle su kaynaklarının kalitesini arttırırken, su verimini (toplanan su miktarı) düşürebilirler. Özellikle sık ve tam kapalı bir yapıda olan ormanda yağışın bir bölümü tepe çatısında kalarak, intersepsiyon ile toprağa ulaşamadan buharlaşmaktadır. Diğer taraftan ormanlar toprakta biriken suyun bir bölümünü de transpirasyon (terleme) ile bünyelerine çekerek stomalarından atmosfere buharlaşmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla amaç ormanlık havzalardan çok kaliteli olmayan bol miktarda kullanma suyu üretmek ise göğüs yüzeyi düşük, aynı yaşlı ormanlar tercih edilmelidir (OGM, 2017).

Toplum Sağlığı Fonksiyonu: Yerleşim yeri, otoyol ve sanayi tesisleri çevresindeki çeşitli olumsuzlukları ve çevre kirliliğini azaltan, bunların insanların mental ve fiziki sağlığını etkilemesini önleyen, filtreleme özellikleriyle toz partiküllerinin havaya karışmasını engelleyen, hava kalitesini iyileştiren, bataklıkları kurutan ve gürültüyü azaltan ormanlar toplum sağlığı fonksiyonuna ayrılır (Asan, 1999). Uygun görüldüğü takdirde bu ormanlar içerisine sanatoryum, prevantoryum ve huzur evi gibi tesisler de kurulabilir. 299 sayılı tebliğe göre kent ormanları da bu fonksiyon içerisinde

değerlendirilmektedir (OGM, 2017). Orman ekosistemlerinin havayı tozdan arındırma yetisi iki türlüdür. Bunlara mekanik temizleme ve kondensasyonel (doygun hale getirme) etki denir. Mekanik temizleme, ormanı oluşturan vejetasyon elemanlarının fiziksel özelliklerinden kaynaklanan filtrasyon (süzme) olayıdır. Kondensasyonel etki ise ormanda varolan mikroiklim sayesinde toz zerreciklerinin doygun hale gelerek yeryüzüne çökmesidir. Buna hava siltasyonu da denir. Değişik yaşlı seçme ormanlarının havayı aynı yaşlı tek katlı ormanlara nazaran %15−25 oranında daha iyi filtre ettikleri ifade edilmektedir (Asan, 2013a).

Estetik Fonksiyon: Taş ocağı, maden sahaları, tuğla−kiremit fabrikaları gibi doğal çevrenin görüntüsünü bozabilen tesislerin gizlenmesi, karayolu, demiryolu vb. çevresinin güzelleştirilmesi, deniz ve göl kıyısındaki görsel etkinin arttırılması gibi etkiler sağlayan ormanların gördüğü fonksiyondur. Bu ormanlar konumsal özellikleri itibariyle dört farklı estetik fonksiyon görebilirler. Bunlar; estetik perdeleme, silüet etki, mozaik etki ve panaromik görüş noktalarıdır. 299 sayılı tebliğe göre Türkiye'de şehirlerarası karayollarının iki tarafında da 50'şer m'lik şeritler bu fonksiyona ayrılmalıdır (OGM, 2017).

Ekoturizm ve Rekreasyon Fonksiyonu: Trekking, kaya tırmanışı, kuş gözlemi, avlanma ve diğer spor faaliyetlerinin gerçekleştirilmesine imkan tanıyan orman alanları ekoturizm fonksiyonuna ayrılmaktadır. Rekreasyon fonksiyonu gören ormanlar ise insanoğlunun ruhen ve bedenen sağlıklı olmasına ve doğa sevgisini tatmasına hizmet eden alanlardır. Bu alanlar iki sınıf altında toplanırlar: (i) orman içi mesire yerleri ve kamp alanları, (ii) festival, şenlik, panayır alanı gibi yerel halkın geleneksel olarak kullanageldiği alanlar (OGM, 2017). Günümüz dünyasında artan kentleşme ve kırdan kente göç olguları şehir merkezlerine yakın ormanlık alanlarda ekoturizm ve rekreasyon fonksiyonuna olan ilgiyi arttırmıştır.

Ulusal Savunma Fonksiyonu: Bu fonksiyon geçmiş yüzyıllarda daha çok ormanların savaşta kullanılabilecek orman ürünlerini sağlaması yönünden değerlendirilmekteydi. Nitekim, tophanelerdeki döküm ocaklarının enerji ihtiyacı yanısıra ok, mancınık, at arabası vd. savaş teçhizatları orman ürünlerinden karşılanmaktaydı. Günümüzde ise ulusal savunma fonksiyonu savaş tekniği ve pasif korunma yönlerinden özellikle ülke sınırına yakın alanlarda önem kazanmaktadır. Ayrıca stratejik öneme sahip enerji ve

sanayi tesislerinin ya da tank taburlarının kamuflajı anlamında da söz konusu fonksiyondan yararlanılmaktadır. Diğer taraftan orman içinde yer alan ve savaş tarihi açısından önemli yer ve kalıntıların korunması ve sergilenmesi de ormanların ulusal savunma fonksiyonu içerisinde yer almaktadır (Asan, 2013a). Askeri makamlar tarafından sınırları belirlenerek talep edilmesi halinde, istenilen orman alanları bu fonksiyona ayrılabilmektedir (OGM, 2017).

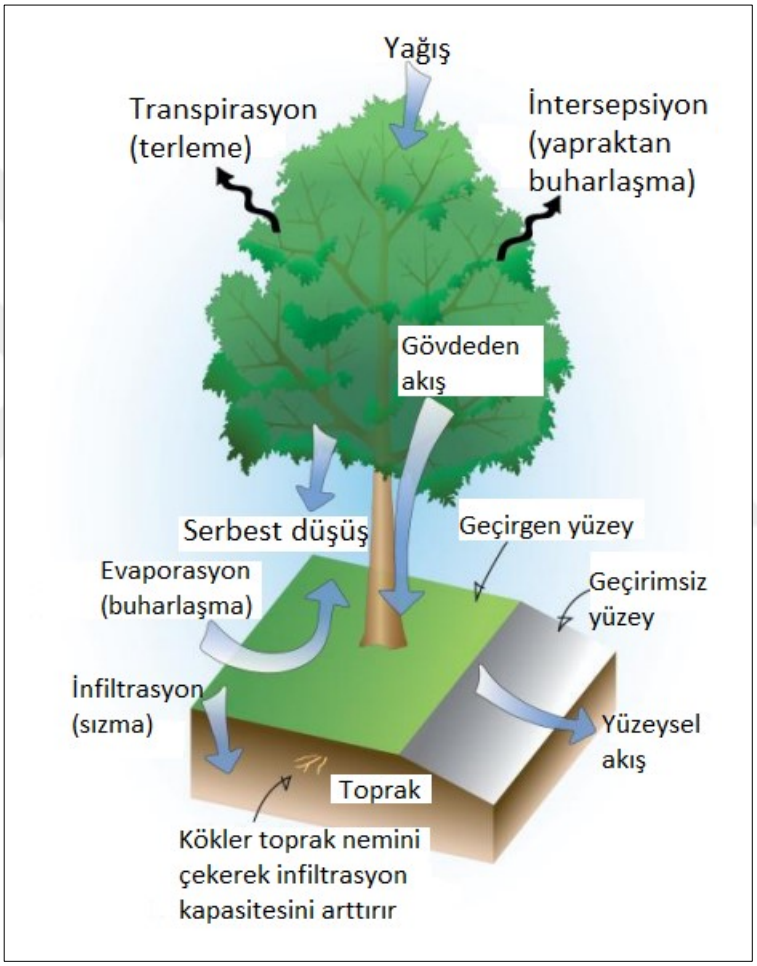
Bilimsel Fonksiyon: Bilimsel fonksiyon gören orman, ekosistem içerisinde bulunan bitkisel, hayvansal ve mineral menşeili unsurları başta ormancılık disiplini olmak üzere zoopaleontoloji, fitopaleontoloji, jeomorfoloji, mineroloji, petrografi, zooloji, ekoloji, arkeoloji gibi disiplinler açısından gözlemek, incelemek, araştırmalar yapmak ve teknik geziler düzenlemek amaçlarıyla ayrılan ormanlık alanlardır. Hem bilim insanları hem öğrenciler hem de çeşitli toplum kesimleri için doğa laboratuvarı olarak anılırlar (Asan, 2013a). Arboretumlar, botanik parkları, koleksiyon bahçeleri ve çeşitli üniversitelerin araştırma ormanları gibi statülü alanlar da bu fonksiyon içerisinde değerlendirilir ve planlanır (OGM, 2017).

Ekosistem içerisindeki karmaşık ilişkiler rekabet ortamında şekillendiği için yukarıda sıralanan orman fonksiyonları arasında bir takım sinerji ya da ödünleşmeler (mübadele) görülebilir (Burkhard ve Maes, 2017). Örneğin; ormandaki tepe tacı kapalılığı ve sıklığın artması erozyonu önleme fonksiyonunu güçlendirirken su üretim fonksiyonunun kapasitesini düşürür. Benzer şekilde, orman içi açıklık alanların bolluğu odun üretimi fonksiyonunu geriletirken yaban hayatı fonksiyonunu geliştirebilir. Bu yüzden planlama sürecinin başında işletme amacını net olarak belirleyerek ilgili fonksiyon ya da fonksiyon gruplarından sağlanan faydayı maksimize edecek yönde kararlar verilmelidir.

1.3.3.2. Ormanların Erozyonu Önleme Fonksiyonu

Erozyonu önleme fonksiyonu; ormanların kendi yetişme ortamları ve etrafındaki koruma bölgelerinde toprağı tutarak yer değiştirmesini önleme, çığ ve heyelanları engelleme, suyla sürüklenen materyali tutma, kumul alanları stabilize etme, humusun çeşitli etkenlerle taşınıp kaybolmasına mani olma gibi su, rüzgar ve doğal erozyonun tüm olumsuzluklarına karşı koydukları koruyucu ve önleyici etkilerdir (Eraslan ve Şad, 1993; OGM, 2017). Bu etkiler direkt ya da dolaylı yollardan gerçekleşebilir.

Direkt etkiler; (i) yağmur damlalarının kinetik enerjisini toprak yüzeyine ulaşmadan emmek, (ii) intersepsiyon ile suyun erosif etkisini azaltmak, (iii) kökleriyle toprağın infiltrasyon kapasitesini yükseltmek, (iv) gövdeleriyle yüzeysel akışı kesmek ve (v) transpirasyon ile toprak nemini düşürmek şeklinde sıralanabilir (Morgan, 2005; Fournier, 2011; Vatandaşlar ve Yavuz, 2017). Bunların grafik gösterimi Şekil 8'de yer almaktadır. Dolaylı etkiler ise; (i) ölü örtü tabakası oluşturma, (ii) toprak özelliklerini iyileştirme ve (iii) rüzgar hızını azaltmadır (Asan, 1999).



Şekil 8. Bitki örtüsünün erozyon önlemedeki rolü (EPA 2013'dan değiştirilerek)

Ormanın tepe tacı kapalılığı ne kadar sık olursa toprağın korunması da o kadar etkili bir biçimde gerçekleşmektedir. Kapalılık kırıldığı takdirde ise erozyonla toprak kaybı artmaktadır (OGM, 2014c). Çünkü ağaçlar dal ve yaprakları sayesinde yağmur damlalarının çıplak toprağa direkt vurarak onu parçalamasına karşı doğal bir kalkan oluştururlar. Dal ve yapraklardan yere damlayan damlalar toprağa yumuşak iniş yapmış olur ve böylece kinetik enerjileri kırılır. Ormanlar yeryüzünde en yoğun bitki

örtüsüne sahip ekosistem tipi oldukları için erozyonu önleme fonksiyonunu diğer karasal ekosistemlere nazaran çok daha mükemmel bir şekilde sağlarlar (Morgan, 2005). Yalnızca 1 ha büyüklüğündeki Ladin ormanında 4 milyarın üzerinde iğne yaprak olduğu belirlenmiştir (Asan, 1999). Gerçekten de sağlıklı ve tam kapalı bir ormanda yok denecek kadar az miktarlarda toprak kaybı meydana gelir. Bu konuda yapılmış birçok yerli ve yabancı araştırma bulunmaktadır. Utah ve Montana'da yapılan bir araştırmada kapalılığın %1'in altında olduğu açıklık bir alanda, aynı özelliklere sahip fakat %100 kapalılıkta orman örtüsü bulunan alandan 200 kat daha fazla toprak kaybı oluştuğu tespit edilmiştir (Trimble ve Mendel, 1995). Erzurum'daki diğer bir araştırmada Vatandaşlar ve Yavuz (2017) bozuk orman ve çalılıklardaki toprak kaybı oranının tam kapalı Sarıçam ormanlarındakinden yaklaşık 70 kat daha fazla olduğunu tahmin etmişlerdir. Yine aynı araştırmada 3 kapalı (>%70) bir ormandaki toprak kaybı oranının aynı koşullardaki tarım arazisindekinden 32 kat, meradakinden ise 47 kat daha az olduğu belirlenmiştir. Diğer araştırmacıların da ormanların toprak koruma etkisini verimli bir şekilde gösterebilmeleri için minimum %58−%60 kapalılığa sahip olmaları gerektiğini bildiren çalışmaları vardır (Singh ve Kaur, 1989; Pimentel ve Kounang, 1998; Kapucu, 2004). Son olarak Borrelli ve ark. (2017a)'nın küresel ölçekteki araştırmasında, tarım alanlarındaki ortalama toprak kaybının ormanlarınkinden 77 kat daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Bu oranların tamamen çıplak arazilerde daha da artabileceği unutulmamalıdır. Çeşitli orman yapıları ve arazi kullanım tipleri ile toprak kaybı arasında nicel ilişkiler kurarak modellemeye olanak sağlayan bu tarz çalışmalar oldukça değerlidir. Çünkü erozyonu önleme fonksiyonunun sayısallaştırılarak orman planlamaya yansıtılmasında altlık oluşturma suretiyle kolaylaştırıcı işlev görmektedirler.

Ağaç kökleri toprağı bir ağ gibi sararak onun yerçekimi veya diğer mekanik kuvvetlerle yer değiştirmesini engeller. Bazı orman ağaçlarının 1 m^3 toprak içerisinde 100 km uzunluğunda ince ve kılcal köklere sahip olduğu bilinmektedir (Asan, 2015). Diğer yandan, ağaç gövdeleri de yüzeysel akış hızının düşürülmesinde oldukça etkilidir. Ağaçlar gövdelerinin yerle temas ettikleri kısımda kalınca bir kök boğazı oluştururlar. Bu kısım aynı zamanda ağacın en kalın çaplı kısmıdır. Dolayısıyla yüzeysel akışla gelen yağmur sularının hızı mekanik olarak kesilir ve suyun sürükleyici gücü azaltılmış olur. Su birim zamanda daha yavaş aktığı için toprağa sızan

miktarda da artış meydana gelir. Bu nedenle, orman içerisinde yüzeysel akış hızı ve miktarı çıplak alanlara nazaran çok daha düşüktür (Asan, 1999).

Diğer karasal ekosistemlerden farklı olarak orman ekosistemleri erozyon önleme fonksiyonunu biraz da ölü örtü tabakasına borçludur. Orman ağaçları yaprak ya da ibrelerini dökmek suretiyle 1 ha'lık alanda yaklaşık 3−4 ton organik madde kütlesi vermektedirler. Toprağı battaniye gibi örten bu kütleye ölü örtü tabakası denir. Orman tabanında biriken ölü örtü tabakası toprağı adeta bir battaniye gibi örterek onu birçok dış etkiden korur. Bu koruma esasen ölü örtünün toprağa ekstra infiltrasyon kapasitesi katması ve yüzey pürüzlülüğünü arttırmasıyla ilgilidir. Dolayısıyla tıpkı ağaç gövdelerinin yaptığı gibi ölü örtü de yüzeysel akış hızını düşürür ve sediment taşınımını azaltır (Zhang ve ark., 2006). Böylelikle toprak kaybında ciddi miktarda düşüşler sağlanır. Nitekim, Chi ve ark. (2008) Çin'de kurdukları erozyon parsellerinde aynı yükseltide bulunan ölü örtülü ve ölü örtüsüz Göknar ormanları arasındaki toprak kaybı oranının 71 kat olduğunu ölçüme dayalı olarak belirlemişlerdir. Özdemir ve ark. (2020) da ölü örtü kalınlığının 5 cm'nin altına düşmesi halinde orman topraklarının erozyon açısından riskli duruma geldiğini ifade etmektedirler. Diğer taraftan toprak canlıları kendilerine besin sağlamak için ölü örtüyü ayrıştırırlar ve böylece humus tabakası oluşur. Humus koyu renkli, şekilsiz ve kadife kıvamında bir yapıya sahiptir. Zamanla toprağa karıştığında toprağa gözenekli, yumuşak ve süngerimsi bir özellik kazandırır. Böylelikle organik madde içeriği artar ve toprak özellikleri iyileştirilmiş olur.

Ormanlar rüzgarın hızını azaltmak suretiyle de erozyonun önlenmesine yardımcı olurlar. Orman içerisinde rüzgarın olumsuz etkileri görülmediğinden toprak oluşumu daha hızlı gerçekleşir ve organik maddece zengin toprağın koparılması zorlaşır. Diğer yandan ormanın tepe çatısı, dal, yaprak, gövde vb. yapısal elemanları rüzgara karşı mekanik direnç oluştururlar. Bu yolla rüzgarın taşıma gücü düştüğü gibi toprak yüzeyini doğrudan yalaması da önlenmiş olur (Asan, 1999).

Orman ekosistemlerinde şiddetli erozyonun görüldüğü özel durumlar da vardır. Bunlar genellikle tıraşlama kesim, şiddetli aralama, ormaniçi otlatma, orman yolu yapımı ve istihsal çalışmalarından (devirme, sürütme, arazi hazırlığı, mekanizasyon vd.) kaynaklanırlar (Morgan, 2005). Küçük alanda yapılan tıraşlama kesimler orman

içerisinde çok sınırlı bir alana zarar verdiğinden genellikle şiddetli erozyona yol açmazlar. Çünkü bitki örtüsünden yoksunlaştırılmış bu alanın etrafı ormanlarla kaplıdır ve harekete geçen toprak buralarda tutulabilir. Ancak geniş ve eğimli alanlarda yapılan tıraşlama kesimler diğer ekolojik faktörlere de bağlı olarak erozyona davetiye çıkarabilirler. Bu nedenle, Türkiye'de tıraşlama metodunun uygulanması belirli şartlara bağlanarak önemli ölçüde sınırlandırılmıştır. 298 sayılı Silvikültür Uygulamaların Teknik Esasları Tebliği'ne (OGM, 2014c) göre tıraşlama kesim metodu yalnızca orman ürünleri üretim fonksiyonu görecek ormanlardaki gençleştirme çalışmalarında, ağaç türlerinin biyolojik özellikleri ve saha bütünlüğü dikkate alınarak uygulanabilir. Buna rağmen uygulama alanı 25 ha'ı geçemez. Aynı tebliğe göre erozyonu önleme fonksiyonlu ormanlarda ise kesinlikle tıraşlama kesim yapılamaz. Yine bu ormanlarda uygulanacak diğer gençleştirme metotları maksimum 5 ha'lık sahalarda gerçekleştirilir. Mevzuatta yapılan tüm bu kısıtlamaların nedeni; ağaç kesimini takip eden özellikle ilk birkaç yıl içerisindeki toprak kaybı miktarlarının aşırı derecede artmasıdır. Morgan (2005), söz konusu orman alanlarındaki toprak kaybının ancak 12 yıl sonra eski, dokunulmamış halindeki toprak kaybı miktarına eşitlenebildiğini bildirmiştir. Aynı araştırmacı Needle Branch Havzası'nda tıraşlama kesimden bir ve iki yıl sonra ölçülen sediment veriminin kesimden öncekine kıyasla sırasıyla %50 ve %260 oranında arttığını raporlamıştır.

Orman ekosistemlerinin erozyonu önleme fonksiyonu yalnızca çeşitli erozyon süreçleriyle oluşan toprak kayıplarını azaltma şeklinde gerçekleşmez. Buna ilaveten ormanların heyelanları önleme, taş ve kaya yuvarlanmalarını engelleme, sel ve taşkınları azaltma, çığ düşmelerini durdurma gibi dolaylı etkileri de vardır. Bu etkileri maksimize etmek için birim alana düşen ağaç sayısı olarak tanımlanan sıklık derecesini arttırmak gerekmektedir (OGM, 2014c). Böylelikle, havzaların yukarı kesimlerinde (memba) ve eğimli yamaçlar üzerinde yer alan ormanlar, alçak kesimlerde (mansap) ya da yamaç altında kurulu olan yerleşim yerleri ve tarım arazileri için adeta bir sigorta işlevi görürler. Özellikle Avusturya'da Alp Dağları yamaçlarında bulunan yerleşim yerlerinin çığ ve kaya yuvarlanmalarından korunması amacıyla ormanların bu fonksiyonlarına özel önem verilmektedir (Quadt ve ark., 2013). Ülkemizde de, çeşitli çevresel afetler nedeniyle zaman zaman can kayıpları yaşanmaktadır. 24−25 Ağustos 2015 tarihinde Artvin−Hopa'da meydana gelen ve 8

kişinin ölümüne yol açan sel ve heyelan felaketi bunlardan yalnızca bir tanesidir. Dolayısıyla Türkiye ormanlarının erozyonu önleme fonksiyonu hayati öneme sahiptir.

Diğer önemli konu erozyonu önleme fonksiyonunun diğer fonksiyonlarla olan ilişkisidir. Bu fonksiyon ile özellikle hidrolojik fonksiyon arasında bir takım ödünleşmeler (mübadele) söz konusudur. Diğer bir ifadeyle bu iki fonksiyon aynı alanda genellikle kendi aralarında çatışma halindedir (Asan, 2013a). Erozyonu önleme fonksiyonunu en iyi yerine getiren orman, su verimini arttırma yönünden başarılı değildir. Nitekim, koruma hedefi en yüksek miktarda kullanma suyu elde etme olan bir ormanda daha az göğüs yüzeyi bulunması arzu edilirken, erozyonu önleme fonksiyonu gören bir ormanda bunun tam aksine fazla göğüs yüzeyinin olması istenir. Keza erozyonu önleme fonksiyonlu ormanlarda tabakalı bir yapı istenirken, kullanma suyu koruma fonksiyonlu ormanlarda aynıyaşlı bir koru ormanı ya da baltalık işletmesi istenebilir (Kalıpsız, 1982). Esasında farklı fonksiyonlar ya da işletme amaçları arasındaki bu tip çelişmeler doğal karşılanmalıdır. Planlamacının görevi; çelişen plan hedeflerinden doğacak sapmaları dengeleyerek en aza indirmektir. Bunun için çok değişkenli karar destek sistemleri kullanılabilir. Bu sistemler yardımıyla nihai amaç eniyilenirken, hedefler arasındaki ayrılıklar minimize edilir (Başkent, 2015).

Bu bölümde özetlenmeye çalışılan araştırmalar bir bütün olarak ele alındığında; kapalılık, ağaç türü, karışım, katlılık, kök yapısı, gelişme çağı, sıklık ve ölü örtü kalınlığı gibi meşcere parametrelerinin erozyonun şiddeti üzerinde oldukça etkili oldukları anlaşılmaktadır. Dolayısıyla, Toprak Koruma İşletme Sınıfları'nda hedef meşcere kuruluşları; mümkün olduğunca sık, göğüs yüzeyi değeri yüksek ve katlı olmalıdır. Ağaç türünün derin kök sistemi geliştirmesi koşuluyla yapraklı ya da ibreli olması fark etmemektedir. Fakat özellikle aktif heyelan sahalarında odununda reçine bulunan ve kolay kolay çürümeyen kazık köklü ağaç türleri tercih edilmelidir (Asan ve Şengönül, 1988). Benzer şekilde, 298 sayılı silvikültür tebliğinde de erozyonu önleme fonksiyonu gören ormanlarda vejetasyonun (ağaç, ağaççık, çalı, otsu bitkiler, ölü örtü dahil) kesintiye uğratılmadan devam ettirilmesi önerilmektedir. Bu amaçla meşcere kuruluşu devamlı korunmalı, yetişme ortamı ve ağaç türünün biyolojisi izin verdiği ölçüde sık, göğüs yüzeyi yüksek, karışık, katlı ve derin kök yapısına sahip orman yapıları kurulmalıdır (OGM, 2014c).

1.3.3.3. Erozyonu Önleme Fonksiyonunun Planlamaya Entegrasyonu

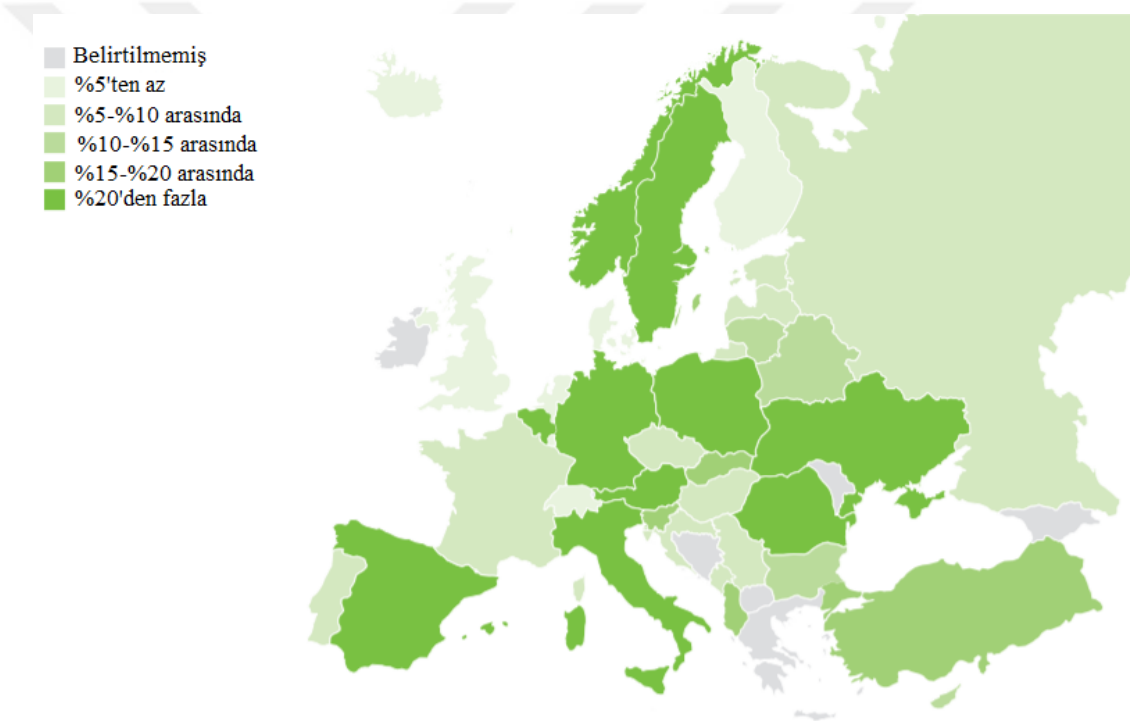
Son dönemlerde özellikle dağlık alanlardaki ormancılık faaliyetlerinin su erozyonu ile gerçekleşen toprak kaybı üzerine önemli etkileri olduğu daha iyi anlaşılmıştır (Trimble ve Mendel, 1995; Ryan ve ark., 1998; Gökbulak, 2004; Asan, 2015; Borrelli ve ark., 2017b). Bunun üzerine kimi ülkeler orman ekosistemlerinin erozyonu önleme fonksiyonunu ve diğer toprak koruma önlemlerini orman planlamaya entegre etmeye çalışmışlardır. Bu amaçla geliştirilen strateji ve yaklaşımlar ülkeden ülkeye ciddi farklılıklar göstermektedir. Hatta ABD ve Avustralya gibi çok geniş sahalara yayılan bazı ülkelerin değişik bölgelerinde bile farklı entegrasyon stratejilerinin benimsendiği görülmektedir. Söz konusu stratejileri genel olarak iki ana grup altında toplamak mümkündür. Bunlar; erozyona duyarlı sahaların farklı yöntemlerle belirlenerek korumaya ayrılması ve bu sahalar için özel olarak tasarlanmış hassas ormancılık faaliyetleridir (Yavuz ve Vatandaşlar, 2017). Dünyadaki gelişmiş ülkelerde ve Türkiye'de toprak korumanın amenajman planlama sürecine entegrasyonu için uygulanan stratejiler aşağıda ayrı ayrı ele alınıp tanıtılmıştır.

1.3.3.3.1. Dünyadaki Entegrasyon Stratejisi

Dünyada toprak korunmasının orman amenajman planlarına entegrasyonuyla ilgili çok çeşitli strateji ve uygulamalar bulunmaktadır. Genel olarak, koruma altına alınacak alanların belirlenmesinde kullanılan kriterler ve bu alanlarda uygulanacak ormancılık faaliyetleri operasyonel plan ya da reçeteler halinde amenajman planlarına işlenmektedir (Yavuz ve Vatandaşlar, 2017). Bu bölümde farklı ülkelere ait ormancılık sistemlerinde toprak erozyonuyla ilgili yasal düzenlemeler, entegrasyon stratejileri, kısıtlamalar ve özel uygulamalar ayrıntılı olarak tanıtılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, öncelikle toprak koruma fonksiyonlu orman alanlarının ayrılma kriterleri incelenmiş ve devamında bu ormanlarda uygulanması önerilen özel işletme teknikleri maddeler halinde sıralanmıştır.

Avrupa Ülkeleri: Avrupa kıtasında ormanların toprak ve su koruma fonksiyonları genellikle bir arada değerlendirilmektedir. Orman kaynaklarının yaklaşık %20'si başta toprak ve su olmak üzere diğer ekolojik değerlerin korunmasına ayrılmıştır. Yalnızca toprak ve su koruma fonksiyonuna ayrılan orman alanlarının ülke toplam ormanlık

alanına oranlarını gösteren harita Şekil 9'da görülebilir. Korumaya ayrılan ormanlık alan yüzdeleri bölgeler itibariyle analiz edildiğinde; Batı Avrupa ülkeleri %37,6 ile birinci, Doğu Avrupa ülkeleri ise %6,7 ile sonuncu sırada gelmektedir (San-Miguel-Ayanz ve ark., 2011). Bu durum İtalya, Fransa, İspanya, İsviçre gibi dağlık arazi yapısına sahip ülkelerin batı bölgelerde toplanmasıyla açıklanabilir. Nitekim, bu oran İtalya'da %83; Fransa ve Almanya'da ise %35'dir. Pan−Avrupa sürecinde yer alan Türkiye'de yalnızca toprak korumaya ayrılan orman alanlarının toplam ormanlık alana oranı %23,4'tür (OGM, 2020). Bu orana hidrolojik ve diğer ekolojik fonksiyonlar için ayrılan alanlar da eklendiğinde, Türkiye'deki değerler Avrupa ortalamasının üzerine çıkmaktadır.



Şekil 9. Avrupa'da toprak ve su koruma fonksiyonuna ayrılan orman alanlarının ülkelerin toplam ormanlık alanlarına oranını gösterir harita (San-Miguel-Ayanz ve ark. 2011'den değiştirilerek)

Koruma fonksiyonlarına verilecek orman alanlarının ayrım kriterleri ülkeden ülkeye önemli değişiklikler göstermektedir. Ancak, kıta geneline bakıldığında; (i) eğim derecesi, (ii) belli bir rakımın üzerinde yer alma ve (iii) yasal olarak korumaya ayrılan alanların plana işlenmesinin en başta gelen seçim kriterleri olduğu anlaşılmaktadır.

Birçok Avrupa ülkesinde fonksiyonlara ayırma (zonlama) işlemi bölgesel veya yerel amenajman planları ile yapılırken, Avusturya'da koruyucu fonksiyon görecek

ormanlar yasayla ayrılmıştır. Bu ormanlara *site−protecting forests* yani "kendi bulundukları sahayı koruyan ormanlar" denmektedir. Planlama aşamasında bu ormanların sınırlarının değiştirilmesi mümkün değildir (Forest Europe, 2011). Yine Avusturya'da farklı türde diğer koruyucu ormanlar da vardır ki, bunlara *object−protecting forests* yani "herhangi bir nesneyi koruyan ormanlar" denir (Quadt ve ark., 2013). Korunan nesneler genellikle çığ yolunda bulunan yerleşim yerleri, altyapı tesisleri ya da orman eteğinde yer alan tarımsal arazilerdir. Niese (2011), Avusturya'da her iki türdeki koruyucu ormanların çoğunluğunun oldukça yaşlandığını ve bunların gençleştirilmesiyle ilgili ciddi problemlerin olduğuna dikkat çekmektedir. Diğer taraftan 2017 yılının Mayıs ayında yenilenen Avusturya SOY kriter ve gösterge setinde bazı değişikliklere gidilmiştir. Yapılan güncellemeye göre konuyla ilgili gösterge; "toprak korumaya ayrılan toplam orman alanının %77'sinde hiçbir surette toprak hareketinin yaşanmaması" olarak revize edilmiştir (ÖWAD, 2017).

Pan−Avrupa sürecine dahil ülkelerde toprak ve su korunması amacıyla ayrılan orman alanları yıllar geçtikçe artmaktadır. Söz konusu ormanlar 2000 yılı itibariyle 115 milyon ha iken bu değer 2010 yılında 122 milyon ha'ın üzerine çıkmıştır. Tüm kıta için yıllık ortalama değişim hızı pozitif yönde %0,63'tür (Forest Europe, 2011). Avrupa genelinde erozyonu önleme fonksiyonlu ormanlar için belirlenen özel uygulama ve kısıtlamalar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır (Resolution L2, 1998; UKFC, 2011; Quadt ve ark., 2013; UKFC, 2017);

- Dere kenarı alanlarda en az %50 kapalılıkta gölge ve yarı gölge karışık meşcereleri kurulur (Birleşik Krallık).
- Odun üretimi gerçekleştirilen maktada yeni gelen gençlik 2 m boya ulaşmadan bitişik (komşu) maktalar gençleştirmeye alınamaz. Gençliğin 2 m boya ulaşması gençleştirme başarısı ve artım hızına bağlı olarak 5 ile 15 yıl arasında değişir (Birleşik Krallık).
- 2 ha'dan daha büyük alanlarda tıraşlama kesim yapılamaz (Avusturya).
- 0,5−2 ha arası büyüklükteki alanlarda tıraşlama kesim yapabilmek için özel izin alınması gerekir (Avusturya).
- Planlama ünitesinin alansal olarak %75'ten fazlası tek ağaç türünden oluşamaz (Birleşik Krallık).

- Planlama ünitesinin alansal olarak en az %5'i yerel yapraklı tür ve çalılarla kaplı olmalıdır (Birleşik Krallık).
- Özel orman sahipleri odun üretimi yaptığı maktayı kesimi takiben en geç 5 yıl içerisinde dikimle gençleştirmeli ya da 10 yıl içerisinde doğal gençleştirmeyle sahaya gençlik getirmelidir (Avusturya).
- Toprak ve su asiditesi artma riski olan sahalarda kısa idare süreleri uygulanamaz, baltalık işletmeciliği yapılamaz (Birleşik Krallık).
- Heyelan riski olan dik yamaçlarda tıraşlamaya alternatif yöntemler (devamlı orman vd.) uygulanır (tüm Avrupa). Bu ormanlar üzerindeki hayvan baskısını (otlatma vs.) azaltmak için özel önlemler alınır (tüm Avrupa).
- Yarı doğal ormanlarda 5 yıllık periyot içerisindeki gençleştirme alanları tüm alanın %10'unu geçemez (Birleşik Krallık).
- Toprak kontaminasyonunu önlemek için pestisit ve gübre kullanımı minimumda tutulur (Birleşik Krallık).
- Sahada geçici olarak akaryakıt ya da makine yağı bulundurulması gerekiyorsa çift tabakalı, izole edilmiş ve güvenli bir şekilde kilitlenmiş özel yakıt tankları kullanılır (Birleşik Krallık).
- Toprak sıkışmasını, sürütme izini ve erozyonu minimize etmek için çalışma ortamına en uygun üretim metodu seçilmelidir. Eğer yine de toprak bozunması başladıysa faaliyet derhal durdurulur (tüm Avrupa).
- Hassas toprak yapısına sahip sahalarda üretim faaliyetleri yalnızca kuru mevsimlerde yapılabilir (tüm Avrupa).
- Kesilen ağaç artıkları sürütme yollarına serilerek toprak korunmak zorundadır (Birleşik Krallık).
- Kesilen ağaç kütükleri yerinden sökülemez (tüm Avrupa).
- Dal ve diğer orman artıkları –özel gereklilik olmadığı sürece– sahada yakılamaz (tüm Avrupa).
- Ormanda yapılacak üretim ve diğer inşaat faaliyetlerinden önce operasyonel planlar muhakkak hazır olmalıdır (tüm Avrupa).
- Yarı doğal ormanlarda tıraşlama kesime alternatif silvikültürel sistemlerin uygulanması şiddetle tavsiye edilir (tüm Avrupa).
- Kısa idare süreli plantasyon ve baltalıklar dışında gübre kullanımı yasaktır (Birleşik Krallık).

- Dere ve diğer su kanalları temiz ve açık tutulur. Bölmeden çıkarma işlemi sırasında ağaç gövdelerinin dereye düşüp akışı engellemesi önlenir (tüm Avrupa).

Amerika Birleşik Devletleri (Washington Eyaleti): ABD ormancılık sistemi incelendiğinde, toprak koruma yönünden Kanada ile oldukça benzerlikler bulunduğu görülmektedir. Fakat ABD'de su toplama havzalarına ve su kıyısı alanlara ve orman yollarına özel önem verildiği göze çarpmaktadır. Örneğin; yeni yapılan orman yollarının yapımı takip eden ilk 3 yıl içerisinde maksimum sediment ürettiği bildirilmekte ve ana materyal tipine göre yollardan kaybedilen toprak miktarı yıllar itibariyle ortaya konmaktadır. Washington Ormancılık Faaliyetleri Kurulu 1992 yılında yayınladığı Havza Analizi El Kitabı (WFPB, 1992) ile ABD Doğal Kaynaklar Departmanı'na bağlı çalışan orman işletme şeflerinin uygulamalarına yön vermektedir. Özel orman sahipleri de kendilerine ait ormanların planlarını yaptırırken aynı şekilde bu kılavuzlara uymak zorundadırlar (Ryan ve ark., 1998). Göze çarpan diğer önemli farklılık ise ABD sisteminde erozyon potansiyeli ve riskinin (gerçekleşme olasılığı) birbirinden ayrılarak bağımsız olarak değerlendirilmesidir.

Ormanlık havzalardaki değerlendirmeler iki seviyede gerçekleştirilmektedir. İlk seviyede 5000−20000 ha büyüklüğündeki havzalar için 5−6 kişiden oluşan ekipler bir hafta boyunca istikşaf gerçekleştirirler. Eğer havza erozyon yönünden riskli bir yapıya sahipse ileri seviyeye geçilir. Bu seviyede iki ile altı hafta arasında süren yoğun arazi çalışmaları yapılarak riskin boyutları kesinleştirilir. Ayrıca her bir havza Strahler'in dere sınıflandırma sistemi uyarınca alt havzalara bölünerek dere ağızlarındaki sediment değerleri belirlenir. Söz konusu çalışmalar ile toplanan verilerin hata oranları da belli bir aralıkta olmak zorundadır. Örneğin; ilk seviyede toplanan verilerde %50'den yüksek doğruluk, ikinci seviyede ise %75−90 arası doğruluk beklenir (Ryan ve ark., 1998). Son olarak alandaki erozyon risk sınıfı farklı göstergeler yardımıyla belirlenir. Eğim ve K-faktör için belirlenen göstergeler Tablo 7'de sunulmuştur.

Tablo 7. Erozyon riskinin belirlenmesinde kullanılan bir kılavuz tablo (K-faktör değerleri U.S. birimidir; WFPB, 1992)

Eğim sınıfı	Erodibilite sınıfı (K)		
(%)	< 0.25	0.25 - 0.40	> 0.40
< 30	Düşük	Düşük	Orta
30 - 65	Düşük	Yüksek	Yüksek
> 65	Orta	Yüksek	Yüksek

ABD'de yukarıda özetlenen değerlendirme sistemi uyarınca belirlenen erozyon riskine göre uygulanacak özel ormancılık faaliyetleri ve kısıtlamalar aşağıdaki gibidir;

- %20 ve üzeri eğimli arazilerde traktörle tomruk çekme ve sürütme yapılamaz.
- Kablo hatlarla üretim yapılırken tomruğun bir ucunun havada diğer ucunun yerde çekilmesine (yarım askı) izin verilmez.
- Düz ve az eğimli yamaçlarda arazi hazırlığı yapılırken ağır iş makinaları kullanılabilir ancak %20 üzerinde eğimli yamaçlarda yalnızca küreme yapılabilir.
- Yağışlı günlerde orman yolları ıslandığından yoğun trafiğe izin verilmez.
- Sırt yolları derelere paralel yapılmalıdır.
- Kazı şevlerine yüksek eğim verilemez. Aksi halde çözülme hızlanır.
- Dereye yakın yerlerde dolduru şevine izin verilmez.
- Yüksek riskli alanlarda yol drenaj yapıları (büz, menfez vd.) sık aralıklarla yapılır (<150 m).

Sonuç olarak, Washington'ndaki entegrasyon sisteminde hidrolojiyi merkeze alan bir yapı söz konusudur ve su kalitesine çok önem verilir. Bu sistemin, erozyon süreçleriyle su kaynaklarına olumsuz etkileri nedeniyle tali olarak ilgilendiğini söylemek yanlış olmaz. Bu durumun, Washington Eyaleti'nde bulunan Pasifik somonu kitlesel üretim çiftlikleri ile alakalı olabileceği değerlendirilmiştir.

Avustralya (Victoria Eyaleti): Ryan ve ark. (1998), orman yolu yapımı, kesim müdahaleleri ve ağaçlandırma çalışmaları için yapılan arazi hazırlıklarının (riper ve pulluk ile toprak işleme) Avustralya ormanlarındaki toprak kaybı değerlerini ciddi oranlarda arttırdığını raporlamışlardır. Bu bağlamda Avustralya'nın da içinde bulunduğu uluslararası ormancılık süreçlerinden Montreal sürecine, söz konusu

ormancılık faaliyetlerinin olumsuz etkilerine karşı önlemlerin alınması ya da yöreye göre bunların tamamen yasaklanmasına dair yükümlülükler eklenmiştir. Nitekim, Montreal Süreci: Ilıman ve Kuzey Ormanlarının Korunması ve Sürdürülebilir Yönetimi için Kriter ve Göstergeler'den 4.2.a: *"Toprak korunması için uygun amenajman tekniklerinin kullanıldığı orman alanlarının tüm orman alanlarına oranı"* göstergesi direkt olarak bu konuyla ilgilidir (MP, 2015). Bu nedenle, Avustralya'da çoğunluğu özel firmalardan oluşan orman sahipleri ve işletmecileri bu yönde aktif önlemler almaktadırlar (Ryan ve ark., 1998). Örneğin; Victoria Eyaleti'nde bulunan orman alanlarının erozyon riskinin belirlenebilmesi ve söz konusu önlemlerin alınabilmesi için yöresel değerlendirme ve sınıflandırma kılavuzları oluşturulmuştur (Tablo 8). Bu kılavuzlarda toprak erozyon süreçleri dört modül altında toplanarak puanlandırılmaktadır. Söz konusu modüller; (i) toprağın bozunmaya karşı duyarlılığı, (ii) toprak geçirgenliği ve yüzeysel akış potansiyeli, (iii) toprak erodibilitesi ve (iv) alan faktörüdür. Her bir modülün altında farklı göstergeler bulunmakta ve bunlar bağımsız olarak değerlendirilip puanlandırılabilmektedir. Daha sonra tüm puanlar toplanarak özet karnelere geçirilmektedir.

Tablo 8. Victoria Eyaleti'ndeki ormanlarda erozyon risk analizi için oluşturulmuş özet karneler (Ryan ve ark., 1998)

ÖRNEK ARAZİ KARNESİ

Özet Tablo

Modül	Tablo	Derecelendirme				
Toprak bozunumuna karşı duyarlılık	1					
Geçirgenlik ve yüzeysel akış	2					
Toprak erodibilitesi	3					
Alan faktörü	4					

Toprak Erozyonu Risk Sınıfları

	Tablo 3'e ait derecelendirme				
Tablo 4	**Çok Düşük**	**Düşük**	**Orta**	**Yüksek**	**Çok Yüksek**
Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Orta	Yüksek
Orta	Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek*
Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek*	Çok Yüksek*

* Çok yüksek riskli sahalar sürütücü ve buldozerle gerçekleştirilecek odun üretimi faaliyetleri için uygun değildir.

Yukarıda bahsedilen modüllere ait kılavuzlar ise Tablo 9'da gösterilmiştir. Tablo 9 incelendiğinde; birinci modül olan *"toprağın bozunmaya karşı duyarlılığı"*

kılavuzundaki göstergelerin; (i) toprak tekstürü, (ii) agrega stabilitesi, (iii) toprak strüktürü, (iv) renk, (v) organik madde ve (vi) taşlılık olduğu görülmektedir. Taşlılık ele alındığında; örnek alandaki taşlılık oranı %50'nin üzerindeyse 1, %10 ile %50 arasında ise 2, %10'un altında ise 3 olarak puanlandırıldığı anlaşılır. Diğer göstergeler de kılavuzdaki sisteme göre puanlandırılıp toplandığında, örnek alanın puanı 27'nin üzerindeyse yüksek riskli, 17−27 aralığında ise orta, 17'nin altında ise düşük riskli olduğu değerlendirilir. Daha sonra diğer modüller de kendi göstergelerine göre puanlandırılıp özet karnelere geçirilir. Sonuç olarak özet karnedeki risk kategorileri bağlamında örnek alanların toprak erozyonuna karşı duyarlılığı bu şekilde ortaya konur. Böylelikle Avustralya'nın Viktoria Eyaleti'ndeki entegrasyon sürecinin birinci aşaması tamamlanmış olmaktadır.

Tablo 9. Toprağın bozunmaya karşı duyarlılığı modülündeki göstergeler ve puanlandırma sistemi (Ryan ve ark., 1998)

Toprak Faktörü *	**Puanlama**								
Toprak tekstürü Puan	KuB, Ki, TKi 1	TKiB, KiB, KuKiB 4	KuB, B, TB, BKu, Ku, T 7						
Agrega stabilitesi Puan	Etkilenmemiş 1	Doygun, düşük dispersiyon 7	Yüksek dispersiyon 15						
Toprak strüktürü Puan	Çok gözenekli 1	Gözenekler belirgin 3	Gözeneksiz 5						
Toprak rengi Puan	Koyu kahverengi, Kırmızımsı siyah 1	Açık kahverengi, açık kırmızı 2	Solgun, sarı, gri, beyaz 3						
Organik madde Puan	Yüksek 1	Orta 4	Düşük 7						
Toprak taşlılığı Puan	>%50 1	%10-%50 2	<%10 3						
DÜŞÜK RİSK: <17; ORTA RİSK: 17-27; YÜKSEK RİSK: >27			**Toplam puan**						

* Orta derecede nemli ve 80 cm derinliğe kadar olan topraklar içindir.

Sürecin ikinci aşamasında özet karnelerdeki değerler yardımıyla belirlenen nihai risk sınıfları (düşük, orta, yüksek, çok yüksek) uyarınca orman için gerekli görülen müdahaleler ve işletme tekniği tipleri seçilir. Bu amaçla Avustrulya'nın ormancılık yönetmeliğinde çeşitli kısıtlamalar ve diğer işletme faaliyetleri yer almaktadır. Birinci aşamada belirlenen orman alanları için toprak kaybını azaltmayı amaçlayan bu kısıtlamalar aşağıdaki gibidir (Ryan ve ark., 1998);

- Özet karne uyarınca yüksek ve çok yüksek erozyon riski bulunan ormanlara gençleştirme alanı vermek ve yeni yol yapmak ancak olumlu uzman görüşü verilmesi halinde mümkündür.

- Granit anakaya menşeili topraklarda ve %50 üzerinde eğime sahip ormanlarda gençleştirme veya bakım amaçlı kesim yapmak yasaktır.

Avustralya (Yeni Güney Galler Eyaleti): Aynı ülkede bulunmalarına rağmen Yeni Güney Galler ve Viktoria eyaletlerinin ormancılık sistemleri ve erozyon değerlendirmeleri birbirinden oldukça farklıdır. Viktoria'nın aksine Yeni Güney Galler'deki orman kaynakları tek ağaç seçme işletmeciliği ile yönetilmektedir. Dolayısıyla toprak tahribatı sorunu, odun üretiminden ziyade ağacın devrilmesi, sürütülerek ormandan çıkarılması veya orman yolu yapım süreçlerinden kaynaklanmaktadır. Büyük oranda devlet orman arazilerine ve plantasyonlara sahip olan Yeni Güney Galler'de ormanlık alanların erozyon duyarlılığı yağış şiddetine bağlı olarak belirlenmektedir. Bu bağlamda, yıllık toplam 800 mm üzerinde yağış alan kesimlerin toprak erodibilitesi yüksek, 800 mm'nin altında yağış alan kesimlerinki ise düşük varsayılmaktadır (Ryan ve ark., 1998). Yüksek erodibiliteli kesimlere 200×200 m aralık-mesafeli sistematik örnek noktalar atılarak buralarda toprak örneklemesi yapılmaktadır. Araziden toplanan veriler laboratuvarda analiz edildikten sonra K-faktörü hesaplanmaktadır. K-faktörü hesaplamada kullanılan parametreler Tablo 10'da detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Bu cetvele göre hesaplanan K-faktör değerleri altı sınıfa ayrılmıştır. Bunlar; (i) K=0,01 için çok düşük erodibilite, (ii) K=0,02 için düşük erodibilite, (iii) K=0,03 için düşük ve orta erodibilite, (iv) K=0,04 için orta erodibilite, (v) K=0,05 için yüksek erodibilite, (vi) K=0,06 için çok yüksek erodibilite sınıflarıdır (CaLM, 1993). Daha sonra bu değerler yağış ve eğim faktörü ile birlikte USLE modeline sokularak bir yılda birim alanda meydana gelen toprak kaybı hesaplanmaktadır. USLE modelindeki bitki örtüsü, yamaç uzunluğu, ve koruma önlemleri faktörleri ise sırasıyla 0,45, 10 m ve 1 olarak alınmaktadır. Kendi içinde büyük varyasyon gösterebilen bitki örtüsü ve eğim faktörünün tüm alanlar için sabit bir değer olarak alınması Yeni Güney Galler'deki sistemin en önemli dezavantajını oluşturmaktadır. Ancak, eyaletin Toprak Koruma Departmanı bu değerlerin 20 yıllık çalışma neticesinde orijinal USLE modelinin sağlaması ve kalibrasyonunun yapılarak Avustralya şartlarına uyarlanması sonucunda (SOILOSS modeli) belirlendiğini belirtmektedir. Ayrıca bu sistemde USLE modelinin çıktısı olan ortalama yıllık toprak kaybı miktarı için kritik eşik değerlerin kanun ve yönetmeliklerde belirtilmemiş olması

diğer önemli eksikliktir. Yeni Güney Galler'de yalnızca egzotik çam plantasyonları için 5−6 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ kritik eşik değeri kullanılmaktadır (Foster ve Constantini, 1991).

Tablo 10. Bol yağışlı alanlar için kullanılan toprak erodibilite sınıflandırma cetveli (CaLM, 1993)

Erodibilite Sınıfı	Toprak profili tanımı		Toprak tipi		Jeoloji	
	Üst toprak	Alt toprak	Northcot tablosunda	Büyük Toprak G.	PRC*	Litoloji
Düşük	Yüksek organik madde içeriği (<%3)			Organik topraklar	01	Turba, kömür
		Bağlı katmanlar, Fe/Mn içeriği zengin topraklar		Laterit, podzol	03	Laterit, boksit
	Kumlu toprak	Derin kumlu toprak	Uc1 toprakları	Silisli kumlar	022	Gevşek kum
	İyi strüktürlü, killi balçıklar ve dağılmamış killer (agregatlı)	İyi strüktürlü killi balçıklar ve dağılmayan killer (doymamış topraklar)	Agrega topraklar Uf5, Gn3, Gn4. Çatlaklı killi toprak; Ug5.1, Ug5.2, Ug5.3. Balçıklı topraklar; Um6.1. Serbest topraklar; Dr4, Db3.	Krasnozem, oşrozem	11 112	Bazalt, dolorit, amfibol (özellikle iyi ayrışmış olanlar)
	K < 0.02	K < 0.02				
Orta	Orta derecede organik madde içeriği (%2-3)	Stabil, dağılmayan balçıklı kil topraklar	Sert, agregatlı toprak; Dr2. Kırmızı&sarı masif topraklar; Gn2.1, Gn2.2	Kırmızı, sarı ve kahverengi topraklar	05	İnce taneli sedimentler; kiltaşı, toztaşı, gri kumtaşı, sleyt.
	İyi strüktürlü killi balçıklar ve killer	Dağılmayan veya az dağılan topraklar	Siyah çatlaklı killi topraklar; Ug5.1, Ug5.2. Sodalı olmayan kırmızı, kahverengi ve sarı topraklar; Dr, Db, Dy	Kara topraklar Kırmızı, sarı ve kahverengi podsoller	11 10 08 07 06 09 12	Bazalt, trakit, dasit, riyolit, feldispadik kumtaşı, şist ve fillit, granodiyorit, tonalit, monzonit, diyorit, ultrabazik kayaçlar.
	K = 0.02-0.04	K = 0.02-0.04				
Yüksek	Düşük organik madde içeriği (<%2). Yıkanmış A2 horizonları. (Yüksek miktarda toz ve ince kum yanı sıra kaba kum içeren topraklar)	Dağılabilen killer. Stabil olmayan ve dağılabilen killi kumlar ve kumlu killer	Sodik sarı ve kırmızı topraklar; DY3.4, Dr3.4, Dr2.3. Tozlu ve ince kumlu balçıklar; Um1, Um2	Solotlar, solonetler, alüvyal topraklar, silisli kumlar, podsoller	052 07 09 021	Birleşmemiş; alüvyon, rüzgar birikintileri, litik kumtaşı, granit, adamelit, konglomera, granodiyorit, kuartz, kumtaşı.
	K = 0.04-0.06	K = 0.02-0.06				

Yeni Güney Galler'de de tıpkı Viktoria Eyaleti gibi yüksek erozyon riskine sahip orman alanlarında uygulanacak ormancılık faaliyetlerine bazı kısıtlamalar getirilmiştir. Bunlar;

- Gençleştirme ve bakım kesimleri erozivitenin düşük olduğu aylarda (kuru mevsimlerde) yapılır.
- %36'nın üzerinde eğime sahip arazilerdeki orman ve sürütme yollarında kasis aralığı 20 m'yi geçemez.
- %57'nin üzerinde eğime sahip alanlara sürütme yolu yapılamaz ve üretime izin verilmez.

- Yapraklı seçme işletmelerindeki üretim faaliyetleri esnasında toprakta meydana gelen hasar (kazınma, ezilme, sıkışma vd.) toplam alanın %10'unu geçemez.
- İbreli ormanlardaki üretim faaliyetleri esnasında toprakta meydana gelen hasar toplam alanın %15'ini geçemez.
- Tüm ormanlardaki üretim amaçlı ağaç devirme faaliyetleri esnasında toprak sıkışması %5'i geçemez.
- Düz arazilerdeki egzotik çam plantasyonlarında dikim terasları birbirine paralel açılabilir.
- %1−15 arası eğime sahip arazilerdeki egzotik çam plantasyonlarında dikim terasları yüzeysel akışı kontrol etmek için eşyükselti eğrilerine paralel açılır ve çevirme dreni yapılabilir.
- %10−20 arası eğime sahip arazilerdeki egzotik çam plantasyonlarında dikim terasları eşyükselti eğrilerine paralel açılır ancak çevirme dreni yapılamaz.
- %20 ve üzeri eğimli arazilerdeki egzotik çam plantasyonlarında dikim terası yapılamaz.
- Eğimli arazilerdeki çember çamı (*Araucaria cunninghamii*) plantasyonlarında dikili servet düşürülerek sıralar arasında çimlenme sağlanmalı ve böylelikle toprak yüzeysel akışa karşı korunmalıdır.

Kanada (Britanya Kolumbiyası Eyaleti): 1995 yılında çıkarılan Britanya Kolumbiyası Ormancılık Faaliyetleri Yasası ile erozyon riski nitel bir şekilde üç başlık altında değerlendirilmektedir (BCMF, 1995). Bunlar; (i) arazi stabilitesi, (ii) oyuntu erozyonu ve (iii) beş temel toprak tahribatı sürecidir (sıkışma ve kaymak tabaka oluşumu, yer değiştirme, ölü örtü kaybı, yüzey erozyonu, kütle hareketi). Detay silvikültür planı yapılıp haritalanmadan önce araziye çıkılarak farklı alanların toprak tahribatına karşı hassasiyetlerindeki değişkenlik değerlendirilir. Örneğin; toprak sıkışması ve kaymak tabaka oluşma riskinin değerlendirilebilmesi için gerekli göstergeleri içeren kılavuz Tablo 11'de sunulmuştur. Bu kılavuz sayesinde örnek noktalardaki toprak sıkışması riski düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak sınıflandırılmıştır. Benzer şekilde diğer tahribat türleri için ilgili kılavuzlardan yapılan değerlendirme işleminden sonra sonuçlar ayrı bir cetvelde puanlandırılır. Toplam puanın içinde bulunduğu aralığa göre örnek noktaların erozyon riski ortaya çıkar (BCMF, 1999).

Tablo 11. Britanya Kolumbiyası'nda toprak sıkışması ve kaymak tabaka oluşma riskini değerlendiren kılavuz tablo (BCMF, 1999)

Toprak sıkışması ve kaymak tabaka oluşumu riski

Toprak tekstürü (0-30 cm)		**Risk sınıfı**	
		Kurak ve orta derecede nemli (H horizonu <20 cm)	Orta derecede nemli ve nemli (H horizonu >20 cm)
Kaba partiküller %70'ten fazla ise		Düşük	Orta
Kaba partiküller %70'ten az ise	Kumlu toprak (Ku, BKu)	Düşük	Çok yüksek
	Kumlu balçık (KuB, ince KuB)	Orta	
	Tozlu balçık (TB, T, B)	Yüksek	
	Killi toprak (KuKiB, KiB, TKiB, KuKi, TKi, Ki)	Çok yüksek	

Çeşitli risk kategorilerine göre alana özel belirlenen ormancılık faaliyetleri ve amenajman kısıtları ise aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır (BCMF, 2001);

- Kıyı kesimlerindeki kesim maktalarında toprak tahribatı yaşanan alanlar (erozyon, sıkışma ya da kayma), planda gençleştirmeye verilen toplam alanın %5'ini geçemez. Eğer geçeceği öngörülüyorsa hava hatları ile üretim yapılır.
- İç kesimlerdeki kesim maktalarında toprak tahribatı yaşanan alanlar, planda gençleştirmeye verilen toplam alanın %10'unu geçemez. Eğer geçeceği öngörülüyorsa hava hatları ile ya da zemin kar örtüsüyle kaplıyken üretim yapılır.
- Orman yolu, depo, taş ocağı ve maden gibi sürekli altyapı tesisleri orman işletmesi toplam ormanlık alanının %7'sini geçemez.
- Rampa yeri, sürütme yolu, sürütme şeridi vd. geçici altyapı tesisleri dere tampon zonu ve oyuntu dış kenarlarına 20 m'den fazla yaklaşamaz.
- Geçici yapı ve tesisler için üst toprağın kaldırılması zorunlu olan hallerde kaldırılan toprak kenarda yığın halinde depolanarak iş bittiğinde yerine serilir.
- Odun üretimi yapılan alanlarda rehabilitasyon tamamlanana kadar drenaj kontrol önlemleri alınır.
- Sürütücü traktör yerine mini ekskavatörler kullanılır.

- Orman yollarına ait kazı ve dolduru şevlerinin mineral topraktaki derinliği 1 m'yi geçemez.
- Heyelan riski olan alanlarda ve hassas toprağa sahip alt havzalarda sürütme şeridi açılamaz.
- Yukarıda belirtilen maddedeki alanlarda yine de üretim yapılması gerekiyorsa ATV'ler (All Terrain Vehicles) kullanılır.
- Bazı durumlarda kök hastalıklarının yayılmasını önlemek için kesilen ağaçların köklerinin de sökülüp çıkarılması gerekebilir; riskli alanlardaki köklerin sökülmesi yasaktır.
- Bazı durumlarda diri örtüyle mücadele için arazi hazırlığı kapsamında yüzey sıyırma işlemi gerekebilir; bu işlem yalnızca derin ve verimli topraklarda lokal olarak yapılabilir.
- Toprak nemli iken kesim/bakım bloklarına ve rampalara iş makinası sokulması yasaktır. Çünkü ıslak toprak daha kolay tahrip olur.
- Rampa ve yol kenarı çalışma alanlarındaki toprak tahribatı yaşanan alanlar, toplam rampa ve çalışma alanının %25'ini geçemez.

Yukarıda sıralanan maddeler devlet ormanları için geçerli olduğu gibi özel ve tüzel kişiliklere ait ormanlardaki yakacak ve yapacak odun üretimi için de geçerlidir (BCMF, 2001). Kanada'da uygulanan sistem bir bütün olarak ele alındığında diğer ülkelere nazaran daha ayrıntılı olduğu anlaşılmaktadır. Ancak puanlama sisteminin subjektifliği ve derelere taşınan sediment riski kılavuzunda en önemli sedimentasyon kaynaklarından orman yollarına ayrı bir parametre olarak yer verilmemiş olması, bu sistemin dezavantajı olarak görülebilir.

Sonuç olarak yukarıda tanıtılan ülkelere ait entegrasyon stratejilerinde farklı kriter ve göstergelerin ön plana çıktığı anlaşılmaktadır. Bunun temel nedeni ülkelerin kendilerine özgü koşulları (iklim, topografya, sosyal baskı vd.) ve ihtiyaçlarının farklı oluşudur. Vatandaşlar ve ark. (2020), orman ekosistemlerinde erozyon riskini değerlendirmek için farklı ülkeler tarafından kullanılan göstergeleri derleyerek tablo haline getirmiştir. Söz konusu göstergeler Tablo 12'de toplu olarak görülebilir.

Tablo 12. Dünyada erozyonun değerlendirilmesi amacıyla kullanılan göstergeler (Vatandaşlar ve ark. 2020'den değiştirilerek)

Göstergeler	Birleşik Krallık	AB ülkeleri	ABD	Kanada	Avustralya (Viktoria)	Avustralya (Y.G.Galler)
Toprak kaybı			✓			✓
Toprak tipi	✓		✓	✓	✓	✓
Taşlılık					✓	
Toprak rengi					✓	
Org. madde	✓			✓	✓	
Yüzeysel akış					✓	
Yağış miktarı						✓
Rakım		✓				
Eğim	✓	✓	✓	✓	✓	
Orman alanı*	✓	✓				✓

* Toprak korumaya ayrılmış orman alanlarının toplam ormanlık alana oranı.

1.3.3.3.2. Türkiye'deki Entegrasyon Stratejisi ve ETFOP

Ülkemizde ormanların erozyonu önleme fonksiyonunu orman amenajman planlarına entegre etme düşüncesi, fonksiyonel planlamanın OGM'ye bağlı Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı tarafından 1989 yılında resmi olarak benimsenmesi (Asan ve Yeşil, 1993) ile şekillenmeye başlamıştır. Bu aşamada fonksiyonel planlama yaklaşımından (Asan, 1990) kısaca bahsetmek gerekir. Bilindiği gibi orman ekosistemleri aynı alan üzerinde birden fazla ürün ve hizmet sunabilmektedirler. Bu ürün ve hizmetlerden öncelik sırasına göre aynı anda faydalanabilmek için (çok amaçlı kullanım) planlama biriminin orman fonksiyon haritası çıkarılır. Buna stratifikasyon ya da zonlama da denir. Orman fonksiyon haritaları planlamacıya bir altık oluşturduğu ve gelecek için alınacak kararları şekillendirdiği için önemlidir (Karahalil, 2009). Daha sonra ayrılacak işletme sınıfları bu haritaya dayandırılır. Böylelikle planlanacak orman kaynaklarından koruma/kullanma dengesi uyarınca optimum yararlanma fonksiyonel eta ile sağlanabilecektir (Asan, 2017).

Türkiye'de sistematik olarak 1963 yılında başlayıp 1990'lı yıllara kadar uygulanagelen klasik ve model plan (Akdeniz Orman Kullanım Projesi ve Batı Karadeniz Yapraklı Tür Projesi vd.) yaklaşımlarının bir takım eksiklik ve sakıncaları üzerine 1980'li yılların sonlarında fonksiyonel planlamaya geçilmiştir. Bu kapsamda

İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Amenajmanı Anabilim Dalı'nda görevli öğretim üyeleri tarafından beş adet fonksiyonel orman amenajman planı hazırlanmıştır. Bunlar; İstanbul'daki Bahçeköy (1989) ve Merkez, Kemerburgaz, Adalar, Gaziosmanpaşa (1991−1992) OİŞ'lerine ait planlardır. Bu planlarda Türkiye'de ilk kez "Erozyon Kontrol İşletme Sınıfı" adı altında bağımsız bir işletme sınıfı yer almıştır (Asan ve Yeşil, 1993). Ülkemizdeki daha eski orman amenajman planlarında da özellikle dağlık sarp arazilerde "Muhafaza Karakterli İşletme Sınıfı" ayrılmış olsa da, bu işletme sınıfı hem yalnızca toprak koruma amaçlı olmadığı (su/doğa koruma ve ulaşım güçlükleri vs.) hem de buralarda hiçbir teknik uygulama öngörülmediği (doğaya terkedildiği) için bunların fonksiyonel amaçlı olmadığı açıktır (Ünal Asan, kişisel görüşme, Temmuz 2017). Dolayısıyla orman ekosistemlerinin erozyon önleme fonksiyonunu gözeterek hazırlanan ilk planların 1989 yılına kadar uzandığını söylemek mümkündür. Bu planlar ayrıntılı olarak incelendiğinde; (i) Erozyon Kontrol İşletme Sınıfı'nda yer alan meşcere tiplerine Üretim İşletme Sınıfı'nda yer alan aynı meşcere tipine nazaran daha az eta verildiği (fonksiyonel eta), (ii) 300 yıl gibi uzun idare sürelerinin belirlendiği ve (iii) yaş sınıfları metodunun küçük maktalı varyantının kullanıldığı dikkat çekmektedir. Bu uygulamalarla (i) etanın düşürülerek kapalılık ve sıklığın bozulmamasının, (ii) uzun idare süresi belirleyerek gençleştirmeye verilecek alanların (OPA) düşürülmesinin ve (iii) küçük parçalı ve dağınık alanlarda gençleştirme yapılarak toprağın üzerindeki orman örtüsünün kesintiye uğratılmamasının (devamlı orman) amaçlandığı anlaşılmaktadır. Nitekim, bu planları hazırlayan ekip içerisinde yer alan Asan ve Yeşil (1993), Bahçeköy ve Adalar OİŞ'leri planları hariç diğer üç planda idare süresini dolduran meşcere bulunmadığı için son hasılat etası verilmediğini, yalnızca Bahçeköy ve Adalar için son hasılat kesim planı hazırlandığını belirtmektedirler. Uygulamaya konduğu yıllar göz önünde bulundurulduğunda (1992 Rio Zirvesi öncesi) söz konusu planların oldukça yenilikçi olduğu ve modern ormancılığın uygulandığı gelişmiş ülkelerdeki standartları yakaladığı görülmektedir. Ancak bu planlardaki Erozyon Kontrol İşletme Sınıfı'nın ya da erozyonu önleme fonksiyonuna atanan alanların fonksiyon haritasında hangi kriterlere dayandırılarak belirlendiği konusunda somut sayısal göstergelere dair herhangi bir ibareye rastlanmamaktadır (OGM, 1989). Dolayısıyla, planlamacıların kendi bilgi ve tecrübelerine dayalı olarak sübjektif ve sezgisel karar verme süreçleriyle

görece yüksek eğimli ve aktif erozyon gözlenen kesimleri söz konusu işletme sınıfına ayırdıkları değerlendirilmektedir.

Ülkemizde erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılacak orman alanlarının belirlenmesinde somut sayısal kriterlerin kullanılması OGM tarafından 2000'li yıllarda benimsenmeye başlanan "Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel (çok amaçlı) Planlama (ETFOP)" sistemi ile mümkün olabilmiştir. ETFOP; ormanı bir bütün olarak ele alan, orman ürünlerinin olduğu kadar ormanın koruyucu ve düzenleyici hizmetlerinin de sürdürülebilirliğini sağlayan, CBS, UA ve matematiksel modellemeye dayalı karar destek sistemleri gibi bilimsel teknikleri planlama sürecine entegre eden modern bir planlama yaklaşımıdır (Asan, 2017; Baskent ve ark., 2008; Başkent, 2018). Türkiye'nin de içinde bulunduğu birçok gelişmiş ülkede ETFOP yaklaşımı teorik olarak benimsenmiş ve ilgili mevzuatta yerini almıştır. Bu bağlamda 5 Şubat 2008 tarihinde ETFOP Orman Amenajman Yönetmeliği Resmi Gazete'de yayınlanmış (OGM, 2008), yönetmeliğin uygulanmasına dönük çeşitli izahnameler çıkarılmış ve son olarak "Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planlarının Düzenlenmesine Ait Usul ve Esaslar (299 sayılı tebliğ)" hazırlanmıştır (OGM, 2014b). 299 sayılı tebliğe göre orman amenajman planları hazırlanırken erozyona hassas olan alanlar ayrılarak ilgili orman haritalarına işlenmektedir. 2019 yılı itibariyle bu kapsamda Türkiye'deki ormanlık alanların %23,4'ü (yaklaşık 5,3 milyon ha) "Erozyonu Önleme Fonksiyonu"na ayrılmıştır (OGM, 2020). Bu miktar, birçok ülkenin toplam orman varlığından daha fazladır. Orman kaynaklarımızın bir kısmının söz konusu fonksiyona ayrılmasındaki temel amaç; bu tip riskli alanlardaki orman kaynaklarından yararlanmayı sınırlamak veya üretimi tamamen durdurarak bitki örtüsünü bulunduğu yerde tutmaktır. 299 sayılı tebliğde "Erozyonu Önleme Fonksiyonu"na ayrılacak alanların belirlenmesinde kullanılacak ölçüt ve göstergeler de ayrıca yer almaktadır. Bunlar (OGM, 2014b);

- Eğimi ne olursa olsun en az 1 ha'lık alanda oluk veya oyuntu erozyonu olması,
- Eğimi %60 ile %79 arasında olan yamaçlar,
- Heyelan oluşumu gözlenen alanlar,
- Taşkın ve sel felaketlerine yol açabilecek akarsu havzalarındaki ormanlar ve
- Çığ tehlikesinin bulunduğu yerlerdir.

Yine aynı tebliğde erozyon risk sınıflandırmasında kullanılan bazı ölçütlere ilişkin eşik değerler de verilmiştir (Tablo 13). Şengönül ve Şahin (2017), söz konusu değerlerin Doğan ve Güçer (1976), Balcı (1996) ve Özhan (2004)'ün kaynaklarından yararlanılarak oluşturulduğunu bildirmektedirler. Ancak Tablo 13'te sıralanan ölçüt ve göstergeler toprak erozyonu üzerinde etkili olmakla beraber onu sayısal anlamda tamamen kavrayabilmek için yeterli değildirler. Aynı tebliğin farklı bir bölümünde de ifade edildiği gibi *"erozyon iklim, topografya, vejetasyon ve toprak gibi etkenlerin birbirleri ile etkileşimleri sonucunda oluşur"* (s. 7) (OGM, 2014b). Tebliğdeki ölçüt ve göstergeler ise daha çok topografya ve kısmen toprak tekstürüyle ilgili olup erozyon üzerinde oldukça etkili olan yağış şiddeti ve süresi, bitki örtüsü ve ürün yönetimi, önceki arazi kullanımı gibi faktörleri göz ardı etmektedir. Dolayısıyla mevcut ölçüt ve göstergelere göre belirlenecek alanlar yanıltıcı olabilmektedir. Başka bir ifadeyle, eğimi %60'ın altında ancak hiç bitki örtüsüne sahip olmayan ve şiddetli sağanaklara maruz kalan çıplaklaşmış bir arazi, eğimi %60'ın üzerinde, tam kapalı ve çok katlı bir meşcereye sahip araziden daha fazla miktarda toprak kaybına konu olabilir. Bu sebeple örneğin Konya yöresinde bulunan Karapınar gibi ciddi erozyon riskine sahip bölgeler sırf düz arazi yapısına sahip oldukları için gözden kaçırılabilirler. Her ne kadar 299 sayılı tebliğde 2017 yılında yapılan değişiklik (OGM, 2017) ile *"Orman amenajmanı açısından bu fonksiyona (y.n. erozyonu önleme fonksiyonu) ayrılacak alanlar belirlenirken aşağıdaki tabloda (y.n. Tablo 13) sıralanan ölçüt ve göstergelerle birlikte toprağın üzerindeki ormanın kapalılığı, meşcerenin kök sistemi, ağaç sayısı vb. ormanın yapısal özellikleri de dikkate alınır. Örneğin; 2 ve 3 kapalılığında orman bulunan alanlarda aktüel erozyon görüntüsü yoksa eğim göstergesi tek başına ölçüt olarak kullanılmaz"* (s. 10) ibaresi eklenmiş ise de uygulamada plan yapıcılar bu fonksiyona ayıracakları yerleri belirlerken genellikle kendi arazi gözlemleri ya da CBS'deki eğim analizleriyle yetinmektedirler (Caner Akgül, kişisel görüşme, Temmuz 2017). Başka bir ifadeyle, batı bölgelerimizde çalışan herhangi bir planlamacının yüksek eğimli olarak değerlendirip toprak korumaya ayırdığı alanlar doğu bölgelerimizde çalışan bir başka planlamacı için orta eğimli ve üretime ayrılması gereken alanlardan olabilmektedir. Bu tip çelişki ve sübjektif kararları gidermek için birim alanda bir yılda gerçekleşen toprak kaybı miktarını piksel hassasiyetinde tahmin eden erozyon tahmin modelleri yardımıyla planlama birimi içerisinde hangi alanların erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılacağını belirlemek gerekir. Birim alandaki

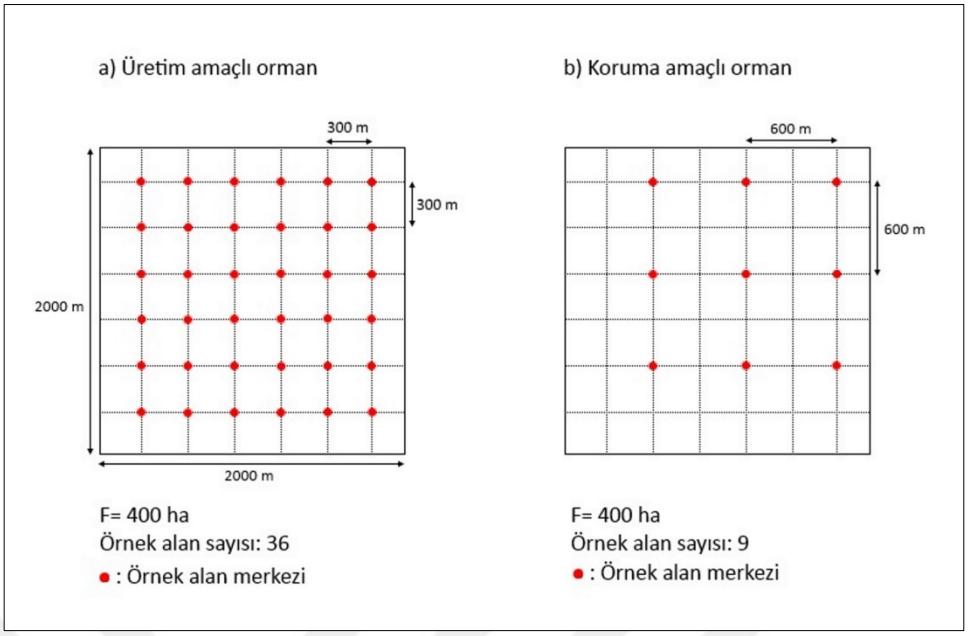
potansiyel toprak kaybını t ha^{-1} $yıl^{-1}$ cinsinden modelleyerek ilgili fonksiyona ayrılacak alanları daha rasyonel bir şekilde tespit etmek mümkündür.

Tablo 13. 299 sayılı tebliğde erozyonu önleme fonksiyonunun ölçüt ve göstergeleri (OGM, 2014b; 2017)

Ölçütler	Göstergeler
Eğim	<%12: Yok; %13−20: Az; %21−58: Orta; >%59: Şiddetli
Yamaç uzunluğu	<80 m: Az; 81−210 m: Orta; >211 m: Şiddetli
Toprak tekstürü	Kil: Az; Balçık: Orta; Kum: Şiddetli
Görsel	Tabaka; Oluk; Oyuntu

Planlama birimi içerisinde erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılacak alanlar belirlendikten sonra, sıra bu orman alanlarında faydalanmanın ne şekilde düzenleneceği ve işletme tekniği (silvikültürel müdahaleler) konusuna gelmektedir. Türkiye ormanlarında tüm işletme amaçları ile orman yapısı arasındaki fonksiyonel ilişkiler bilinmediği ve genellikle yetişme ortamı kötü yerlerde bulunan, boşluklu ya da gevşek kapalılıktaki bu tip orman alanlarının artım değerlerine ilişkin yeterli ve sağlıklı veri toplanmadığı için bu alanlara ne kadar ara hasılat (bakım) etası verilmesi gerektiği de belirsizliğini korumaktadır. Yeterli ve sağlıklı verinin toplanamamasının nedenleri ise; (i) ağaç serveti ve artım envanteri yapılırken ekonomik fonksiyon (orman ürünleri üretimi) dışında kalan ormanlık alanlardaki örnekleme yoğunluğunun düşük olması ve (ii) boşluklu kapalı ormanlarda örnekleme yapılmamasıdır. Nitekim, 299 sayılı tebliğde (OGM, 2014b) *"ekolojik ve sosyokültürel fonksiyonlu ormanlara düşen örnek alanların %25'i alınır"* (s. 20) ibaresi yer almaktadır. Dolayısıyla Toprak Koruma İşletme Sınıfları'na ayrılan ormanlara sistematik olarak atılan örnek alanların aralık-mesafeleri Üretim İşletme Sınıfları'ndaki gibi 300×300 m değil, 600×600 m olmaktadır. Bu değişim ise normalde 9 ha'da 1 yapılan örneklemenin 36 ha'da 1'e düşmesine neden olmaktadır. Örnekleme deseni ve yoğunluğundaki farklılığın daha iyi anlaşılabilmesi için Şekil 10'da gösterilen örnekleme tasarımları incelenebilir. Diğer taraftan boşluklu kapalı meşcerelere düşen örnek alanlara gidilmediği için buradaki ağaçlara ilişkin hacim ve artım elemanları ölçülmemektedir. Dolayısıyla, envanter aşamasında bu ağaçların yaşları ve son 10 yıllık halka genişliklerine dair veriler envanter karnelerine kaydedilmemektedir. Bu meşcere tiplerine hacim ve artım değeri olarak Amenajman Rehberlik ve Denetim Başmühendisi ve plan yapıcının

birlikte kararlaştırdıkları tahmini ortalama değerler verilmektedir (Caner Akgül, kişisel görüşme, Temmuz 2017). Örneğin; Doğu Karadeniz Bölgesi'ne ait amenajman planlarındaki 13 numaralı "meşcere tipleri tanıtım tabloları" incelendiğinde bozuk meşcerelere ait hacim ve artım değerlerinin sırasıyla 10−15 m^3 ve 0,5−1 m^3 $yıl^{-1}$ arasında değiştiği anlaşılmaktadır (OGM, 2013; 2018). Böylece "Erozyonu Önleme Fonksiyonu"na ayrılan ormanlardaki örnekleme yoğunluğu Şekil 10'dakinden de düşük olmakta ve hata oranı yükselmektedir. Tüm bunların bileşik etkisi olarak işletme sınıfının hacim ve periyodik artım hesabındaki belirsizlik artmakta, dolayısıyla bakım etası bilimsel esas ve yöntemlerle kararlaştırılamamaktadır. Teamüllere bakıldığında Toprak Koruma İşletme Sınıfları için –yetişme ortamı koşullarına bağlı olarak değişmekle beraber– genellikle üretim işletme sınıfları için verilen etanın yarısı verilmektedir (Caner Akgül, kişisel görüşme, Temmuz 2017). Bu miktar, 10 yıllık artımın yaklaşık 1/3'üne tekabül etmektedir. Bu düzeydeki faydalanma –ister yetersiz, ister sürdürülebilir, isterse de aşırı olsun− farklı yapıdaki ormanlar için gelecekte farklı hedef (optimal) kuruluşlar üretmeye adaydır. Faydalanmanın aşırıya kaçtığı durumlarda ilgili işletme sınıflarındaki sürdürülebilirliğin riske gireceği de açıktır. Ayrıca bu ormanların amenajmanında temel unsur olan yaş (idare süresi) ile ilgili belirsizlikler de bulunmaktadır. İlgili literatür ve yönetmeliklerde toprak korumaya ayrılan ormanlar için uygun idare sürelerine ilişkin herhangi bir bilgiye rastlanmamıştır. Ancak ülkemizdeki planlama çalışmaları incelendiğinde koruma fonksiyonlu ormanlarda idare süresi üretim işletme sınıflarındakinin yaklaşık iki katı kadar yükseltilerek OPA'ların küçültülmesi yoluna gidildiği gözlenmektedir (OGM, 1989; 2013; 2018; Mumcu Kucuker ve Baskent, 2017; Bozali, 2020). Sonuç olarak Türkiye'deki koruma fonksiyonlu ormanlık alanların planlanması ve işletilmesiyle ilgili ciddi boşlukların olduğu anlaşılmaktadır. Fakat orman alanlarındaki erozyon riskinin diğer alanlara nazaran daha düşük olması, ülkemizdeki bilim insanlarını bugüne kadar daha çok orman dışı alanlarda meydana gelen erozyon süreçlerini araştırmaya itmiştir. Bu nedenle farklı meşcere tiplerinde meydana gelen toprak kayıpları arasındaki ciddi değişimler gözden kaçmıştır.



Şekil 10. 299 sayılı tebliğe göre Türkiye ormanlarında gerçekleştirilen ağaç serveti ve artım envanteri için kullanılan örnekleme tasarımları

Erozyonu önleme fonksiyonu görecek ormanların silvikültürü konusunda ise ilgili literatürde çeşitli bilgi ve birikimlerin aktarıldığı görülmektedir. Örneğin; 2014 yılında yayınlanan 298 sayılı "Silvikültürel Uygulamaların Teknik Esasları" tebliğinde (OGM, 2014c) *"Erozyonu önleme fonksiyonu görecek ormanlarda uyulacak silvikültürel ilkeler"* alt başlıklı bir bölüm bulunmaktadır. Bu bölümde erozyonu önleme fonksiyonu gören ormanın tanımı yapıldıktan sonra aşağıda maddeler halinde sıralanan bir takım önerilere yer verilmiştir (OGM, 2014c);

- *"Erozyonu önleme fonksiyonlu ormanlar ağaç türü ya da türleri uygun olduğu sürece seçme ya da doğaya yakın (devamlı orman) anlayışıyla planlanmalı ve işletilmeli, tabakalı bir yapı oluşturulmalıdır.*
- *Ağaç türü ya da türlerinin buna uygun olmama durumunda planlama yaş sınıfları amenajman metodunun küçük maktalı varyantı (yaş sınıfı alanının ormana dağıtılması sistemi) kullanılarak yapılmalı, büyük alanlarda aynı yaşlı ve tek tabakalı meşcerelerin oluşmasına engel olacak şekilde planlama ve uygulamalar yapılmalıdır.*
- *Erozyonu önleme fonksiyonlu ormanlarda yapılacak her müdahalenin doğaya yakın anlayışta olmasına özen gösterilmelidir.*

- *Gençleştirme çalışmaları küçük alanlarda (grup, büyük grup, küçük meşcere boyutlarında) yapılmalı, en fazla 5 hektar olmalı, özel ve genel gençleştirme süresi uzun tutulmalıdır.*
- *Erozyonu önleme fonksiyonlu ormanlarda kesinlikle tıraşlama kesim yapılmamalıdır.*
- *Gençlik, kültür, sıklık bakımı ve aralama müdahaleleri aksatılmadan yapılmalı, biyotik ve abiyotik zararlılara karşı dayanıklı meşcereler oluşturulmalıdır.*
- *Sıklık bakımı ve aralama müdahaleleri mutedil olmalı, kapalılık kırılmamalıdır. Mümkün olan yerlerde sürütme yapılmamalı, havai hat vb. sistemler kullanılmalıdır.*
- *Gençlik−kültür bakımları sırasında esas meşcereyi oluşturacak türlerin fidan ve gençliklerine zararı olmayan her türlü vejetasyon korunmalı, tam alanda süceyrat temizliği, ot mücadelesi yapılmamalıdır.*
- *Silvikültürel müdahaleler sırasında gerek dış meşcere perdesi, gerekse yol kenarlarındaki ve orman içi açıklıklarının etrafındaki iç meşcere perdesi korunmalı, gelişmesi için çalışmalar yapılmalıdır.*
- *Kapalılığı bozulmuş alanlarda mevcut yapı mümkün olduğunca korunarak gençleştirme ve rehabilitasyon çalışmaları ile kapalılığın en kısa sürede oluşturulmasına çalışılmalıdır.*
- *Gerekiyorsa çalışma yapılan yerlerde erozyon kontrol tedbirleri alınmalıdır.*
- *Taş yuvarlanması ve çığ tehlikesinin olduğu yerlerde kesimler yüksek yapılmalı, bu yükseklik çığ tehlikesinin olduğu yerlerde azami kar yüksekliğinden az olmamalıdır.*
- *Taş, kaya yuvarlanması tehlikesinin olduğu yerlerde kesilen bazı gövdeler yamaç yönüne dik olarak aşağıya yuvarlanmayacak şekilde alanda bırakılmalıdır.*
- *Nehir ve dere yamaçlarında bulunan orman alanlarında, eğime bağlı olarak küçük ve dar tabanlı sulu derelerin her iki yanında 25−50 m, büyük ve geniş tabanlı sulu derelerin her iki yanında ise 50−100 m koruma kuşakları ayrılarak korunmalı ve bu alanlarda orman yapısına göre mutedil müdahalelerde bulunulmalı, orman örtüsünü kesintiye uğratacak müdahaleler yapılmamalıdır.*

- *Kesme ve bölmeden çıkarma işlemleri sırasında mekanizasyondan yararlanılmalı mümkün olmayan durumlarda emvalin belirlenmiş sürütme yollarından bölme dışına çıkartılması sağlanmalıdır.*
- *Erozyonu önleme ormanında baltalık işletmeciliğinden vazgeçilmeli, mevcut baltalıklar koruya dönüştürülmelidir.*
- *Erozyonu önleme ormanlarında mümkün olduğunca yol yapılmamalı, zorunlu hallerde yol inşaatları dozer kullanılmadan, araziye en az zarar verecek şekilde gerçekleştirilmelidir.*
- *Heyelan tehlikesi olan alanlarda toprağın stabil hale getirilmesi için öncelikle ağır kütlesiyle heyelanı hızlandıracak ağaçlar yerine yöre şartlarına uygun ağaççık ve çalılar kullanılmalıdır"* (s. 81).

1.4. Konuyla İlgili Yapılmış Çalışmalar

Yerli ve yabancı literatürde RUSLE modeliyle erozyon tahmini konusunda çok fazla çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların bazıları mikrohavza ölçeğinde (Prasannakumar ve ark., 2012; Pan ve Wen, 2014; Avcı ve Yüksel, 2016; Yavuz ve Tufekcioglu, 2019), bazıları havza (Borrelli ve ark., 2014) ya da bölgesel ölçekte (Fan ve ark., 2018), diğerleri ise ulusal (Prasuhn ve ark., 2013; Erpul ve ark., 2018), kıtasal (Panagos ve ark., 2015) ve küresel (Borrelli ve ark., 2017a) ölçekte yürütülmüşlerdir. Büyük ölçekli detaylı çalışma yürüten araştırmacılardan Tüfekçioğlu ve Yavuz (2016), Yusufeli mikrohavzasında yüzey erozyonuyla kaybolan ortalama toprak miktarını 3,6 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ olarak tahmin etmişlerdir. Araştırmacılar toprak kaybının konumsal modellemesini de gerçekleştirmişler ve mikrohavzanın erozyon risk haritasını üretmişlerdir. Bu tip çalışmalar erozyon kontrol faaliyetlerinin önceliklendirilerek uygulamacıların en riskli sahalara yoğunlaşmasına hizmet etmektedirler. Fakat alandaki orman yapısı ve toprak kaybı arasındaki ilişkinin kurulmasında eksik kalmaktadırlar.

Yukarıda sayılan çalışmalar kadar fazla olmasa da, orman yapısıyla erozyon süreçlerini nicel olarak ilişkilendiren çalışmalara da rastlamak mümkündür. Örneğin; Mısır (2001), Ormanüstü Planlama Birimi'nden toplanmış 132 adet toprak örneğine ait analiz sonuçlarını kullanarak, örnekleme alanlarındaki toprak kaybını USLE modeliyle tahmin etmiştir. Daha sonra bu değerleri örnekleme alanındaki meşcerelerin göğüs yüzeyleriyle ilişkilendiren araştırmacı, her bir meşcere tipi için erozyon

matrisleri kurmuştur. Kurulan matrisler ÇAPMOD isimli çok amaçlı programlama modellerinde kullanılarak, ormandaki toprak erozyonunun seyri beş plan dönemi boyunca izlenmiş ve sonuçlar irdelenmiştir. Karahalil (2003) ise aynı yaklaşımla Gümüşhane Karanlıkdere Planlama Birimi'nde 83 örnekleme alanı için erozyon matrisleri kurmuştur. Diğer çalışmadan farklı olarak net bugünkü değer de analiz edilmiş ve çeşitli plan seçenekleri değerlendirilmiştir. Benzer şekilde Yolasığmaz (2004), Artvin Merkez Planlama Birimi'nden aldığı 112 adet toprak örneğini kullanarak örnek alanlardaki toprak kaybı miktarını USLE ile tahmin etmiştir. Daha sonra bu miktarları alandaki meşcere göğüs yüzeyi ile ilişkilendiren araştırmacı istatistik olarak anlamlı bir regresyon modeli geliştirmiştir. Geliştirilen modelin belirtme katsayısı 0,55'tir. Böylelikle farklı meşcere tipleri için hesaplanan toprak kaybı miktarları ile ormanın gelecekteki yapısı kestirilmiş ve farklı senaryolar üretilerek işletme şefliğinin 100 yıl sonraki durumu ortaya konmuştur. Yine Misir ve ark. (2007) Karadeniz Teknik Üniversitesi araştırma ormanında bulunan sabit deneme alanlarından topladıkları veriler yardımıyla orta çap ve birim alandaki ağaç sayısı ile toprak kaybı arasında istatistik olarak anlamlı ilişkiler bulmuşlardır. Bu ilişkileri regresyon yöntemiyle modelleyen araştırmacılar aynı ve değişik yaşlı ormanlardaki toprak kaybını %99 güvenle tahmin etmişlerdir. Keleş (2008) ise yukarıda sıralanan çalışmalarda üretilen toprak erozyon modellerini kendi geliştirdiği karar destek sisteminde kullanmış ve sonuçları raporlamıştır. Son olarak Karahalil (2009), sistematik olarak atılan 73 adet örnek noktada standart envanter ölçümlerine ilaveten toprak örnekleri de alarak bunlar üzerinde kimyasal ve fiziksel analizler gerçekleştirmiştir. Bu yolla toprak özelliklerini belirleyen araştırmacı daha sonra USLE ile örnek noktalardaki toprak kaybını hesaplamış ve bu değeri çeşitli meşcere parametreleriyle (ağaç sayısı, göğüs yüzeyi, hacim) ilişkilendirmiştir. Geliştirilen regresyon modelinin belirtme katsayısı 0,40'dır. Daha sonra bu model yardımıyla toprak erozyon matrisleri oluşturulmuş ve böylece toprak kaybı, çok amaçlı planlama modeline entegre edilmiştir.

Çeşitli orman yapıları ve toprak kaybı miktarı arasında nicel ilişkiler kurarak modellemeye olanak sağlayan bu tarz çalışmalar son derece değerli olup, erozyonu önleme fonksiyonu görecek optimum orman kuruluşlarının ortaya konulmasında altlık oluşturarak kolaylaştırıcı işlev görmektedirler. Ancak, bu çalışmalardaki temel

eksiklik; (R)USLE ile ormanların erozyonu önleme fonksiyonunun değil, alandaki yıllık ortalama potansiyel toprak kaybının sayısallaştırılmış olmasıdır. Halbuki, iki kavram birbirinden tamamen farklıdır. Erozyonu önleme fonksiyonu; ormanların toprak koruma kapasitesiyle ilgilidir. Dolayısıyla bunun göstergesi sahadaki yıllık ortalama potansiyel toprak kaybı değil, ormanlar sayesinde yerinde tutulabilen toprak miktarı (önlenen erozyon) ya da meşcerelerin toprak koruma performansı olmalıdır. Esasen ilgili fonksiyon ya da ekosistem hizmetinin sayısallaştırılması konusunda bugüne kadar yapılmış yerli ve yabancı çalışmaların büyük çoğunluğu maalesef aynı hataya düşmüşlerdir (bkz. Pamukcu, 2015; Markov ve Nedkov, 2016).

Ekosistem sayesinde yerinde tutulan toprak kaybını modellemeyi başaran çok az sayıda çalışma vardır. Bunlardan Fu ve ark. (2011), Çin'de bulunan Loess Havzası'nda yürüttükleri çalışmada USLE'yi kullanarak aynı alanın hem bitki örtüsüne sahip hem de bitki örtüsünden yoksun hallerini betimleyen iki senaryo oluşturmuşlardır. Daha sonra iki ayrı senaryoya ait yıllık toprak kayıpları arasındaki farkı hesaplamışlardır. Buldukları değeri "soil retention" yani yerinde tutulan toprak olarak niteleyen araştırmacılar erozyonu önleme fonksiyonunun göstergesi olarak bunu kullanmışlardır. Bu tip göstergelere birincil gösterge denmekte ve yüksek doğruluktaki bilimsel çalışmalar için mümkün olduğunca bunların tercih edilmesi gerektiği bildirilmektedir (Egoh ve ark., 2012). Arazi örtüsü, eğim ve toprak erodibilitesi gibi değişkenler ise ikincil göstergelerden sayılmakta ve yalnızca veri noksanlığı gibi zorunlu hallerde genel bir yaklaşım (*proxy indicators*) olarak kullanılmalıdırlar (Burkhard ve Maes, 2017). Benzer şekilde, Leh ve ark. (2013) da Afrika'nın batısında yapmış oldukları çalışmada tutulan sediment miktarını modellemişlerdir. Araştırmacılar, arazi kullanımında son 10 yılda gerçekleşen değişimin erozyonu önleme fonksiyonunun ulusal ölçekte sağlanmasına önemli bir etkisinin olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Guerra ve ark. (2014) ise Güney Portekiz'de gerçekleştirdikleri çalışmada toprak erozyonunun yapısal etkisinden yani sahada hiç vejetasyon bulunmaması halinde meydana gelmesi beklenen toprak kaybından yararlanarak çeşitli ekosistemlerin erozyonu önleme fonksiyonlarını hesaplamışlardır. Çalışmanın sonunda, belirli bir alandaki ekosistemin toprak koruma kapasitesi (arz) ile o alandan sağlanan aktüel koruma fonksiyonunun (akış) aynı olacağı önkabulü

çürütülmüştür. İkisi arasında hem zamansal hem de mekânsal farklılıkların olduğu görülmüştür.

Aynı konuda daha yakın zamanda çalışma yürütmüş araştırmacılardan Cerretelli ve ark. (2018) Etiyopya'da RUSLE ile aynı alanda iki farklı modelleme yapmışlardır. İlk modellemede sahadaki bitki örtüsü ve toprak koruma önlemlerinin olmadığı varsayılmış ve gerçekleşebilecek maksimum toprak kaybı hesaplanmıştır. İkinci modellemede ise RUSLE yaklaşımı normal şekilde işletilmiştir. Daha sonra iki model arasındaki fark alınarak korunan toprak miktarı belirlenmiştir. Böylelikle sahadaki bitki örtüsünün erozyonu önleme fonksiyonu net olarak ortaya çıkmaktadır. Araştırmacılar korunan toprak miktarının yüksek olduğu yerlerin hem C-faktörü hem de LS-faktörünün yüksek olduğu yerlerle örtüştüğü sonucuna ulaşmışlardır. Vatandaşlar ve Yavuz (2017) da Erzurum'da yürüttükleri çalışmada C-faktörünün toprak kaybı üzerine önemli etkileri olduğunu modellemeye dayalı olarak ortaya koymuşlardır. Çalışmaya göre boşluklu kapalı orman ve çalılıklardaki toprak kaybı oranının tam kapalı Sarıçam ormanlarındakinden yaklaşık 70 kat daha fazla olduğu bulunmuştur. Steinhoff-Knopp ve Burkhard (2018) ise Almanya'nın Saksonya eyaletindeki nispeten küçük bir alanda (465 ha) gerçekleştirdikleri projede, Guerra ve ark. (2014) ile benzer bir yaklaşımla, tarım arazilerindeki erozyonu önleme fonksiyonunu modellemişlerdir. Modelden çıkan sonuçları 86 tarlada 17 yıl boyunca ölçülmüş toprak kaybı değerleriyle karşılaştıran araştırmacılar, USLE temelli modellerin aktüel toprak kaybını biraz fazla tahmin ettiğini ve dolayısıyla erozyonu önleme fonksiyonunun gerçekten biraz daha az bulunmasına sebebiyet verdiklerini belirtmişlerdir. Syrbe ve ark. (2018) ise Almanya'daki tüm ekosistemlerin erozyonu önleme fonksiyonunun daha doğru bir şekilde modellenebilmesi için birincil ve ikincil göstergeler geliştirmişlerdir. Birincil gösterge; önlenen erozyon iken, ikincil göstergeler aktüel erozyon, tarım alanlarındaki küçük ölçekli yapılar (çit, hendek, ağaçlık vs.) sayesinde önlenen erozyon ve tarım alanlarındaki organik yetiştiricilik oranıdır. Araştırmacılar bu göstergeler yardımıyla öncelikle yıllık toprak kaybı ve hipotetik erozyon oranını (bitki örtüsünün olmadığı senaryo) tahmin etmişlerdir. Daha sonra ikisinin farkını alarak ekosistemlerin koruyucu etkisini (erozyonu önleme fonksiyonunu) ortaya çıkarmışlardır. Buna göre; Almanya genelinde tüm ekosistemler tarafından önlenen erozyon miktarı yıllık 467 milyon tondur. Syrbe ve ark.

(2018)'nınki gibi yeni göstergeler geliştirebilen çalışmaların varlığı çok önemlidir. Çünkü her bir orman fonksiyonunun sayısallaştırılması için faydalı olabilecek spesifik göstergelerin yokluğunda, bu fonksiyonların orman amenajman planlarına yansıtılmaları çok zordur.

Bu zorluğun farkında olan Briner ve ark. (2013) İsviçre'deki dağ ormanları için Genel Koruma Ormanı İndisi (GPFI) geliştirmiş ve bu yolla eğimli arazideki ormanların toprağı koruma performansını ölçmüştür. GFPI için gerekli olan parametreler; 24 cm'nin üzerinde hektardaki ağaç sayısı, tür karışımı ve yaş sınıfıdır. Benzer şekilde, Elkin ve ark. (2013) da Avrupa Alpleri'nde kaya yuvarlanmasını engellemek için Kaya Yuvarlanması Koruma İndisi (RFPI) geliştirmiştir. Bu indisin toprak koruma amacıyla da kullanılabileceği belirten araştırmacılar RFPI için gerekli olan parametreleri; kayaları tutmaya yarayan 12, 24 ve 36 cm'den kalın çaplı ağaç sayısı ve yüzey pürüzlüğünü arttırmaya yarayan devrik gövde biyokütlesi olarak sıralamaktadırlar. Maroschek ve ark. (2015)'nın Avusturya Dağları'ndaki çığ ve heyelan riski için yaptığı bir başka çalışmada ise çeşitli eşik değerler belirlenmiştir. Bu değerlere göre; heyelan riski yaşanmaması için orman içerisinde gençlik bulunmayan boşlukların boyutu 400 m^2'yi, gençlik gelmiş boşluklarınki ise 800 m^2'yi geçmemesi gerekmektedir. Yine söz konusu ormandaki kapalılık ideal olarak %60'dan fazla olmalı ve asla %40'ın altına inmemelidir (Frehner ve ark., 2005; Maroschek ve ark., 2015). Cordonnier ve ark. (2013)'nın Norveç dağlarındaki Ladin ormanlarında gerçekleştirdiği projede ise boylu ve çok katlı ormanların heyelanı ve erozyonu önlemede daha etkili oldukları belirtilmiş ve bu etkiyi ölçebilmek için Heyelan Koruma İndeksi (LPI) geliştirilmiştir. Diğer çalışmalarınkine nazaran daha basit bir yapıda olan LPI'de kullanılan tek parametre kapalılıktır. Araştırmacılar 5 cm çapından büyük olan ağaçların bulunduğu ormanlar için 3 farklı kapalılık sınıfı geliştirmiş ve buna göre; %30'dan düşük kapalılığa sahip olanların LPI'si düşük, %30−60 arasındakilerin orta, %60'dan fazla olanlarınki ise yüksektir. LPI yükseldikçe ormanın heyelan ve erozyona karşı gösterdiği koruma performansı da yükselmektedir. Görüldüğü gibi her ülkenin araştırmacıları genellikle kendi coğrafyalarının ihtiyaçları doğrultusunda çalışmalar yürütmüşlerdir.

Ülkemizde de kendi ihtiyaçlarımız doğrultusunda göstergeler geliştirmeye çalışan çalışmalar mevcuttur. Örneğin Vatandaşlar ve ark. (2020), Veliköy Orman İşletme

Şefliği'nde bulunan çok sayıdaki örnek alandan topladıkları veriler sonucunda sıklık, göğüs yüzeyi, meşcere yaşı, katlılık, orta boy, diri örtü, tür karışımı ve bakı grubunun erozyonu önleme fonksiyonu görecek ormanların nicel olarak belirlenmesinde birer gösterge olarak kullanılabileceğini tespit etmişlerdir. Bu konuda yapılmış bir diğer çalışmada ise ormanların toprak koruma değerinin sayısallaştırılması için bir puanlandırma tablosu oluşturulmuştur (Şengönül ve Şahin, 2017). Bu tabloda altı adet ayırma kriteri ve bunlara ait ağırlıklandırma katsayıları yer almaktadır. Araştırmacılar, bu katsayılar yardımıyla yaptıkları puanlandırma sonucunda koruma değeri 75−100 arasında ise alanın potansiyel riskli olduğunu, 100'ün üzerinde ise mutlak toprak koruma fonksiyonlu olması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu çalışma planlamacıya pratik bir ön yaklaşım sunması açısından değerlidir. Ancak kendilerinin de belirttiği gibi puanlandırma sistemi deneye ya da modellemeye dayalı olmayıp, geçmiş literatür bulgularını ve önceden yapılmış çalışmaların sonuçlarını baz almıştır. Ayrıca, önerilen ayrım kriterleri arasından eğim faktörüne %80'den fazla ağırlık verilmesi yönüyle, söz konusu çalışma ülkemizdeki mevcut ayrım ölçüt ve göstergelerinden (OGM, 2017) pek de farklı değildir. Dolayısıyla, bu tez çalışmasında geçmiş çalışmaların ihtiyaçlarını/eksikliklerini de göz önünde bulundurarak onları tamamlayabilecek bir yaklaşım izlenmiştir. Nitekim, adı geçen araştırmacılar da çalışmalarının sonunda *"uygulayıcılar ve bu konuda çalışan araştırıcıların, çalışmada kullanılan denklemin eksikliklerini ve kullanılabilme olanakları ile ilgili öneri ve eleştirileri bu çalışmanın daha da geliştirilmesine olanak sağlayacaktır" (s. 448)* şeklinde bir ifadede bulunmuşlardır (Şengönül ve Şahin, 2017).

Toprak korumaya ayrılması gereken ormanlık alanları nicel olarak belirledikten sonra sıra buradaki optimal orman kuruluşlarını ortaya koymaya gelmektedir. Bu çalışmalarda ormandan çıkarılması gereken eta miktarından ziyade ormanda bırakılması gereken miktarlar üzerinde durulmaktadır. Örneğin, Asan (2013b) Toprak Koruma İşletme Sınıfları'ndaki hedef meşcere kuruluşlarının ilgili ağaç türünün hasılat tablosundaki hacim ve göğüs yüzeyi değerlerine arazi eğimi uyarınca +%10−20 eklenerek bulunması gerektiğini savunmuştur. Daha güncel bir çalışmada Özdemir ve ark. (2020) da aynı değerleri "iyi uygulama rehberi" olarak savunmaktadırlar. Benzer şekilde, Amenajman Başmühendislerinden Savaşan (1999), *"Toprak Koruma Fonksiyonunun ana amaç olduğu yerlerde; varolan bitki topluluklarının ve meşcere*

kuruluşlarının korunması, derin kök sistemi yapan ağaç türlerinin kullanılması, sık karışık ve katlı meşcerelerin oluşturulması, silvikültürel işlemlerin küçük alanlarda uygulanması, tıraşlama kesimlerden kaçınılması, gençlik ve kültür bakımlarının zamanında ve ölçüsünde yapılması gerekir" şeklindeki genel önerilerde bulunmuştur. Bozali (2020) ise amaç çapı, idare süresi ve amaç servet parametreleri üzerinden devamlı orman formunu esas alan ve Fransız hacim metoduyla hesaplanan bir optimal kuruluş yaklaşımını önermektedir.

Bu konudaki yurtdışı yayınlarda ise hedef meşcere kuruluşları genellikle ideal profil ve minimum profil olarak ikiye ayrılmışlardır. İdeal profil; uzun dönemli silvikültürel hedef olarak tanımlanırken, minimum profil ise koruma etkisinin sağlanabilmesi için gerekli olan en düşük eşik değer olarak tanımlanmıştır (Frehner ve ark., 2007). Örneğin; kaya yuvarlanma riski olan bir bölgedeki Göknar−Kayın orman topluluğu için önerilen karışım şekli %40 Kayın, %30 Göknar, %20 Ladin ve %10 Akçaağaç şeklindedir (Frehner ve ark., 2007). Yine aynı çalışmada 1 ha'lık alan için 24 cm'den büyük çaplı en az 400 ağacın bulunması gerektiği, bu ağaçların en az 3 farklı çap sınıfında olması gerektiği ve gövdeler arasında 20 m'den fazla açıklık olmaması gerektiği bildirilmektedir. Hedef kuruluşlar ayrıntılı ve nicel olarak belirtildikten sonra uygulayıcıya dönük bir takım silvikültürel müdahale reçeteleri de hazırlanmıştır.

Bazı çalışmaların ise erozyon önleme fonksiyonunun diğer fonksiyonlarla olan ilişkisine odaklandığı görülmektedir. Birbirleri arasında sinerji ya da ödünleşme bulunan orman fonksiyonları üzerine yapılan araştırmaların ETFOP açısından da oldukça önemli olduğu bilinmektedir (Başkent, 2018). Nitekim, çeşitli yönetim alternatiflerinin (idare süresi, amenajman metodu vd.) orman fonksiyonlarının kapasitesi üzerinde gelecekte meydana getireceği potansiyel etkileri bilmek bugünkü planlama kararlarının daha isabetli verilmesine yardımcı olmaktadır. Bu tür çalışmalar yürüten araştırmacılardan Frank ve ark. (2014), çalışma alanlarında toprak erozyonunu azaltıcı yöndeki amenajman uygulamalarının diğer fonksiyonları ne yönde etkileyeceğini çeşitli senaryolar kurarak karar destek programı (GISCAME) yardımıyla analiz etmişlerdir. Program çıktılarına göre; sahadaki su kanallarının otsu bitkilerle yeşillendirilmesi sonucunda toprak kaybında %2−7, yamaçlara canlı/cansız çit yapımına ilaveten işlemeli tarımın terk edilmesi halinde %33−89 ve her üç faaliyetin birden yapılması durumunda ise %92'lik düşüş gözlenmiştir. Ayrıca söz

konusu faaliyetler ile alandaki ekolojik bütünsellik arasında sinerji olduğu fakat bunun odun üretimini az da olsa olumsuz etkileyeceği sonucuna varılmıştır. Çin'de yapılan bir diğer çalışmada ise araştırmacılar erozyon önleme fonksiyonunu sayısallaştırıp haritalamak için RUSLE'yi revize edip C-faktörü ve P-faktörünü 1'den çıkartmak suretiyle modele sokmuşlardır (Jiang ve ark., 2018). Bu yolla Loess Havzası'nda tutulan toprak miktarını tahmin eden araştırmacılar ayrıca erozyon önleme fonksiyonu ile hidrolojik fonksiyon ve karbon depolama fonksiyonu arasındaki bağıntıları da incelemişlerdir. Buna göre söz konusu fonksiyonlar arası ilişkilerin yalnızca sinerji ve ödünleşme olarak korelasyon şeklinde olmadığı, buna ilaveten birbirlerini baskılama şeklinde de etkileşimlerin gerçekleştiği görülmüştür. Örneğin erozyon önleme ve karbon depolama fonksiyonu arasındaki ilişkinin grafiği kambur (ters U) şeklindedir. Yani karbon depolama fonksiyonundaki iyileşme belli bir noktaya kadar erozyonu önleme fonksiyonunu arttırmakta, ancak; kritik nokta aşıldığında erozyonu önleme fonksiyonu yeniden düşmektedir. Son olarak Kandziora ve ark. (2013) tarımsal bir ekosistemde erozyon önleme fonksiyonunu optimize edecek şekilde bir amenajman stratejisinin benimsenmesi halinde, diğer fonksiyonlarda nasıl bir değişim olacağını araştırmışlardır. Buna göre erozyon önleme fonksiyonunu önceleyen bir orman amenajmanı yaklaşımının; doğa koruma, yapacak odun üretimi, ODOÜ üretimi, ekoturizm ve rekreasyon, estetik ve toplum sağlığı fonksiyonlarını olumlu yönde etkileyerek onların kapasitesini arttıracağını raporlamışlardır. Diğer taraftan aynı yaklaşımın; tarımsal ürün üretimi, enerji için biyokütle üretimi, ot verimi, hayvancılık ve lif odunu üretimi fonksiyonlarında gerilemeye yol açacağı öngörülmüştür. Bu durumdan olumlu ya da olumsuz şekilde etkilenmeyen fonksiyonlar ise; iklim koruma, besin döngüsü düzenleme, balık ve deniz ürünleri üretimi, akuakültür, kutsal deneyim kazanma (totemik türler, ayin vd.) ve hidrolojik fonksiyonlardır.

Bu bölümde konuyla ilgili yapılmış çalışmalardan kesitler sunulmuştur. Bu kesitler bir bütün olarak değerlendirildiğinde, toprak bilimcilerin erozyon konusunda geçmişten günümüze kadar çok fazla sayıda çalışma yürüttüğü ve toprak kaybı açısından yeryüzünün anlık fotoğrafını yeterince başarılı bir şekilde çekebildikleri anlaşılmaktadır. Ancak, Oudenhoven ve ark. (2015)'nın da vurguladığı gibi gerçek hayatta erozyon sürecinin nasıl önlenebileceği sorusu hep göz ardı edilmiştir. Diğer taraftan, orman planlamacılarının da UA ve CBS tekniklerini kendi alanlarında etkili

biçimde kullanarak ormanların erozyonu önleme fonksiyonunu sayısallaştırmaya çalıştıkları ve bunun ne kadar değerli olduğunu göstermek istedikleri görülmektedir. Fakat bu çalışmaların erozyon çalışmalarının aksine hem çok az sayıda olduğu hem de yalnızca son yıllarda yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Bunun nedeni; erozyonu önleme fonksiyonu gibi ormanların koruyucu ve düzenleyici hizmetlerinin nicel ve parasal anlamda kavranabilmesinin oldukça zor oluşudur (Kapucu, 2004; Başkent, 2018; Vatandaşlar ve ark., 2020). Dolayısıyla bu tez çalışmasında sunulan kavramsal çerçevede yürütülen çalışmalara literatürde ciddi ihtiyaç vardır. Bu çalışmayı, erozyonla ilgili diğer çalışmalardan ayıran en önemli husus; odak noktasının toprak erozyonu sürecinin bizatihi kendisi değil, bu sürecin orman planlama çalışmalarına yansıtılması suretiyle sahadaki nihai toprak kaybının azaltılma imkanlarının araştırılmış olmasıdır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

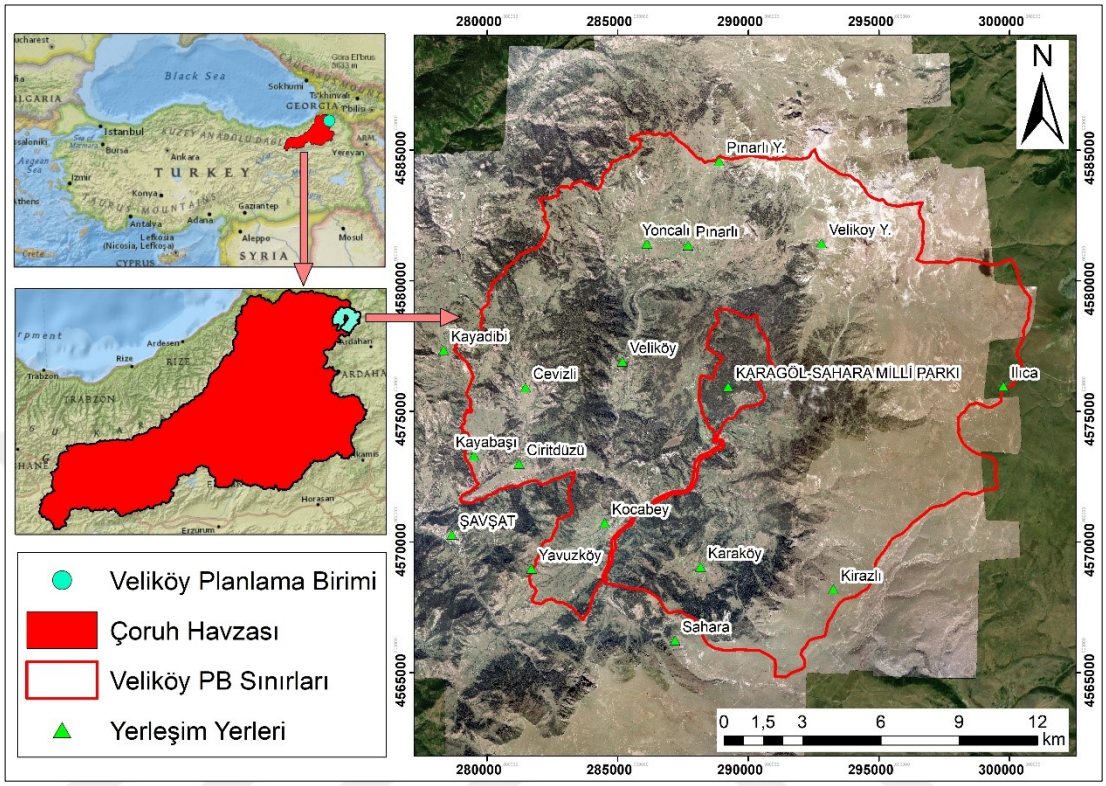
2.1. Çalışma Alanlarının Tanıtımı

Çalışma alanı olarak, iklim ve orman yapısı bakımından birbirleriyle zıtlık oluşturan iki Orman İşletme Şefliği (OİŞ) seçilmiştir. Bunlardan orman yapısı güçlü, tür çeşitliliği bakımından zengin ve nemli bir iklime sahip olan Veliköy OİŞ; idari açıdan Artvin Orman Bölge Müdürlüğü, Şavşat Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlıdır. Yarı kurak iklime sahip ve orman kaynakları açısından nispeten fakir olan Olur OİŞ ise Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü, Oltu Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı bulunmaktadır. Söz konusu şeflikler çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde Veliköy Planlama Birimi (PB) ve Olur Planlama Birimi olarak anılacaktır.

2.1.1. Coğrafi Konum ve Demografik Özellikler

Veliköy Planlama Birimi (PB); Artvin'in Şavşat ilçesi sınırları içerisinde bulunan Veliköy PB, 41º12'32''−41º23'43'' kuzey enlemleri ve 42º22'27''−42º36'01'' doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 11). Çalışma alanının ortasında Karagöl−Sahara Milli Parkı (MP) bulunmaktadır. MP'ın farklı bir işletme birimi olarak değerlendirilmesinden dolayı 2013'teki plan yenileme çalışmaları sırasında MP sınırları, işletme şefliğinin sınırlarıyla kesiştirilerek Bakanlık oluruyla Veliköy PB'nden çıkartılmıştır. Dolayısıyla Karagöl−Sahara MP çalışma alanının dışında kalmakta ve Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü (DKMP) tarafından işletilmektedir. Ancak, özellikle yaz aylarında Karagöl'e ziyaretçi akını yaşanmakta ve PB bundan yoğun bir şekilde etkilenmektedir. Toplamda 28584 ha olan Veliköy PB, 240 bölme ve 3118 bölmecikten oluşmaktadır. Geniş ve zengin bir orman örtüsüne sahip olan çalışma alanının hakim ağaç türleri; Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), Doğu Karadeniz Göknarı (*Abies nordmanniana* ssp. *nordmanniana*) ve Doğu Ladini'dir (*Picea orientalis* (L.) Link.). Normal kapalılıktaki ormanların ortalama boniteti III. sınıftır. Göknarın saf ve karışık olarak bulunduğu koru kuruluşları birleştirilerek değişik yaşlı seçme işletmesi olarak planlanmış ve o şekilde işletilmektedir. Bunun

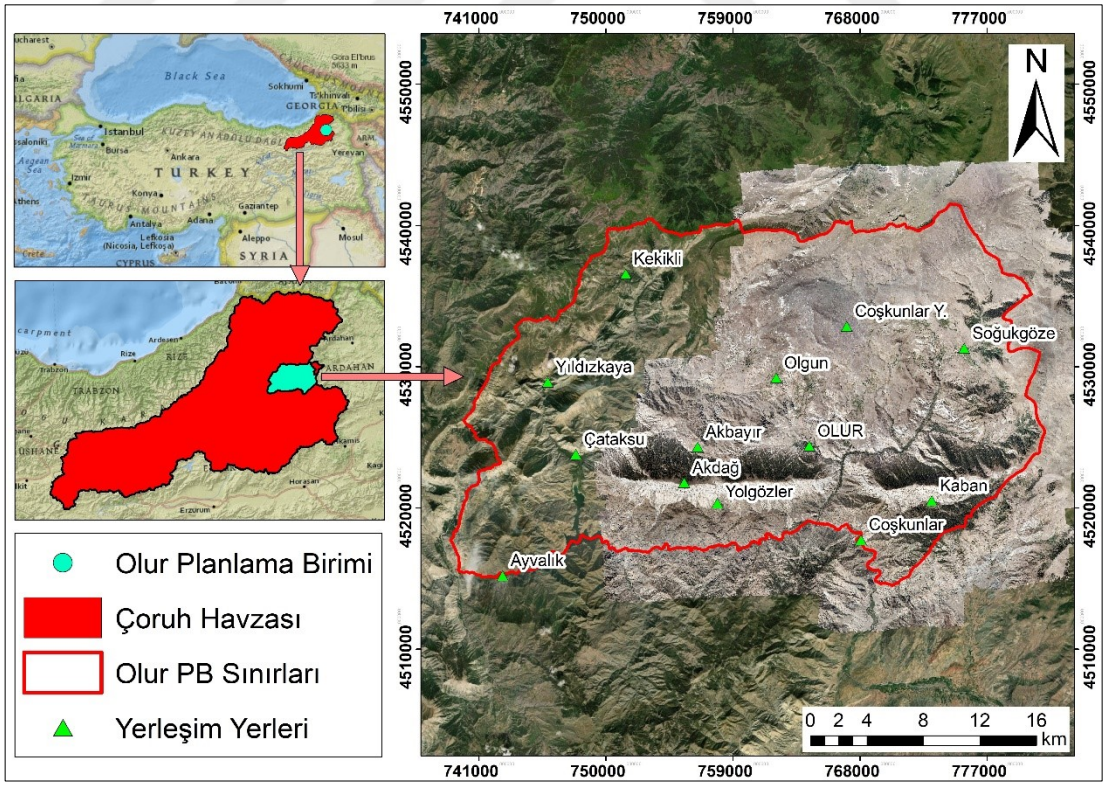
dışında kalan ormanların tamamı yine koru işletmesi olup, orman amenajman planında aynı yaşlı ve maktalı olarak planlanmıştır (OGM, 2013).



Şekil 11. Veliköy Planlama Birimi'nin coğrafi konumu

Artvin'e 68 km, Ardahan'a ise 53 km uzaklıkta bulunan Veliköy PB'nde 12 adet köy bulunmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre orman içi ve civarındaki bu köylerde toplam nüfus; 2019 yılı için 3335 kişidir (TÜİK, 2019). Nüfusun büyük kısmı tarım ve hayvancılıkla ilgilenmektedir. Kısmen ormancılık iş kolunda da çalışılmaktadır. Ancak bölge göç veren bir durumdadır ve özellikle genç nüfus büyük şehirlerde yaşamaktadır. Bu nedenle, ormancılık faaliyetlerinin yoğun olduğu dönemlerde işgücü sıkıntısı yaşanabilmektedir (OGM, 2013). Çalışmak ya da eğitim almak için bölge dışına göçen genç ve orta yaşlı kesim, yaz aylarında tatil amaçlı olarak bölgeye geri gelmektedir. Son yıllarda artan ekoturizm faaliyetleri nedeniyle bölgeyi tercih eden turistlerle beraber yaz aylarında nüfus yaklaşık iki kat artmaktadır. Ayrıca bölgenin Sahara bölümündeki meralık alanlarda her yaz geleneksel pancar şenlikleri düzenlenmektedir (Orhan, 2015; Yavuz ve Vatandaşlar, 2018).

Olur Planlama Birimi; Erzurum'un Olur ilçesi sınırları içerisinde bulunan Olur PB, 40º14'18''–40º58'45'' kuzey enlemleri ve 41º49'55''–42º19'59'' doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 12). Toplam 80864 ha genişliğindeki PB, 615 bölme ve 2237 bölmecikten oluşmaktadır. Yaklaşık ¾'lük bölümü bitki örtüsünden yoksun olan ve bu yüzden bol miktarda aktif erozyon sahası bulunan arazideki sınırlı orman alanlarında hakim ağaç türü Sarıçamdır (*Pinus sylvestris* L.). Özellikle boşluklu kapalı ormanlar başta olmak üzere yer yer Ardıç (*Juniperus* sp.) ve Kavak (*Populus* sp.) türlerine de rastlanır. Normal kapalılıktaki Sarıçam meşcerelerinin ortalama bonitet sınıfı III (orta), az sayıdaki Kavak meşcerelerininki ise II (iyi)'dir. Olur PB ormanlarının tamamı koru işletmesi olup, aynı yaşlı maktalı olarak planlanıp işletilmektedir (OGM, 2015b). 2018 yaz döneminde sahada yapılan arazi çalışmaları sonucunda özellikle 1500–1700 m yükselti kuşağında kalan (nispeten) alçak kesimlerdeki Sarıçam ormanlarında ciddi ökseotu zararı gözlemlenmiştir. Meşcerelerin bazıları bu nedenle kurumuştur.

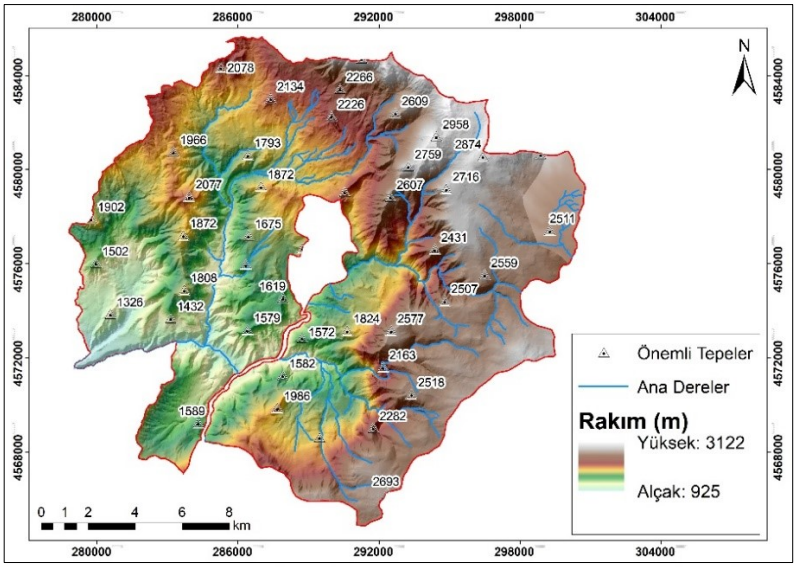


Şekil 12. Olur Planlama Birimi'nin coğrafi konumu

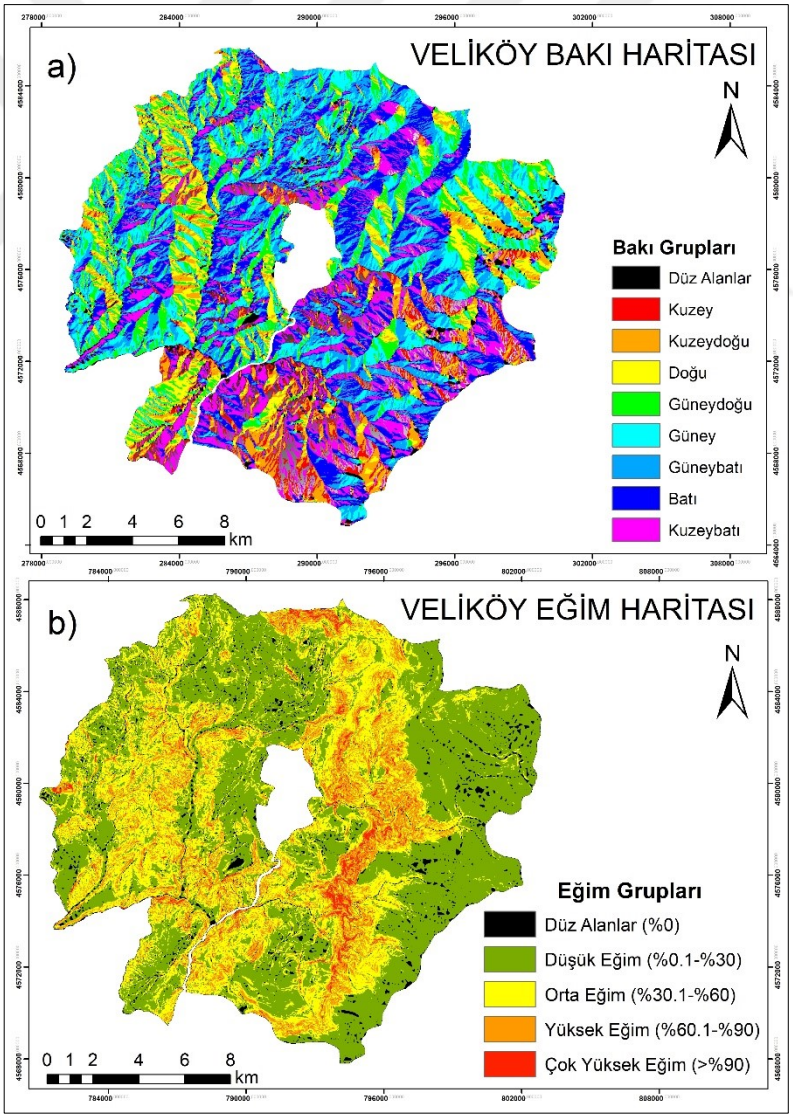
Çevredeki en büyük il merkezi olan Erzurum'a ortalama 100 km uzaklıktaki Olur'da toplam 39 köy bulunmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre Olur'daki toplam nüfus; 2019 itibariyle 6469 kişidir (TÜİK, 2019). Nüfusun büyük kısmı hayvancılık ve orman işleriyle ilgilenmektedir. Orman ve meralarda düzensiz otlatmaları engellemek için son yıllarda OİŞ tarafından otlatma planları yaptırılmıştır. Ormancılık faaliyetlerinde herhangi bir işgücü sıkıntısı söz konusu değildir. Ancak yeterli tarım alanı olmaması ve olumsuz iklim koşulları nedeniyle ziraat yaygınlaşamamıştır. Dolayısıyla yöre halkının önemli bir kesimi geçim sıkıntısı yaşamaktadır (OGM, 2015b). Yöre halkının refah düzeyini arttırmak ve bölgedeki doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı azaltmak için 2012 yılında Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi (ÇNHRP) başlatılmıştır. Bu proje kapsamında Olur'da seçilen köylerde yöre halkına ısı verimlilikli soba, güneş paneli vd. zati ihtiyaçlar dağıtılarak ekosistemlerden usulsüz faydalanmanın önüne geçilmeye çalışılmaktadır (ÇNHRP, 2013).

2.1.2. Topografik Yapı

Veliköy Planlama Birimi'nde rakım havzanın güney girişinde 925 m'den başlayıp kuzey yönüne doğru 3122 m'ye kadar yükselmektedir (Şekil 13). Planlama biriminin ortalama rakımı 1983 m'dir. Alan, Doğu Karadeniz bölgesinin geneli gibi oldukça dağlık bir topografyaya sahiptir. Ortalama eğim %34'tür. Batı kesimlerde genellikle düşük ve orta eğim değerleri görülürken, doğuya doğru rakım birden yükselerek eğimi ciddi oranda arttırır. En doğudaki yüksek platolarda ise eğim birden düşerek saha düzleşir (Şekil 14b). Planlama biriminin ortasında bulunan Karagöl mevkiindeki eğim de etrafına göre nispeten düşüktür. Esasında bu göl; geçmişte kayan büyük bir kütlenin arkasındaki dev çanakta biriken sularla oluşmuş bir heyelan gölüdür (Yavuz ve Vatandaşlar, 2018). Geniş düzlükleriyle dikkat çeken diğer bir bölge ise Ciritdüzü mevkiidir. Burası planlama birimine batıdan girişte yer alır. Bakı yönünden alan genel olarak heterojen bir yapıya sahiptir. Ancak alanın kuzey yarısında güney bakılı yamaçlar hakim iken, güney yarıda kuzey yamaçların hakimiyeti görülür (Şekil 14a).

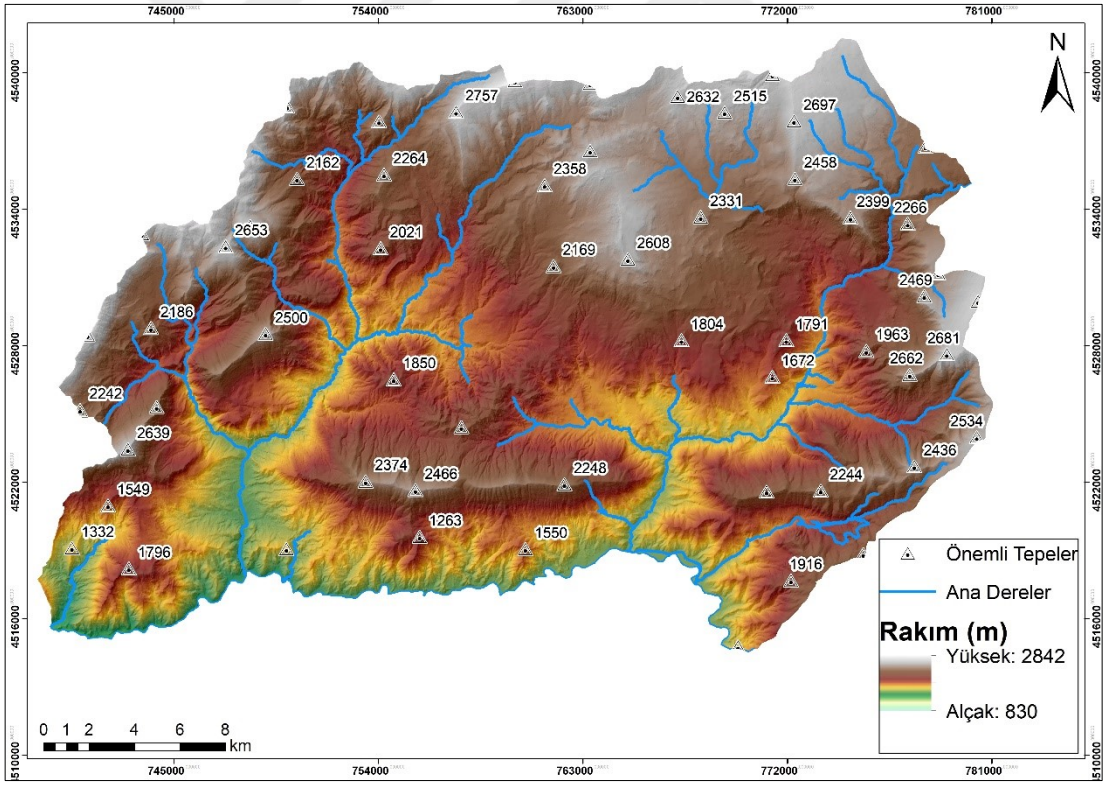


Şekil 13. Veliköy Planlama Birimi'nin yükseklik haritası

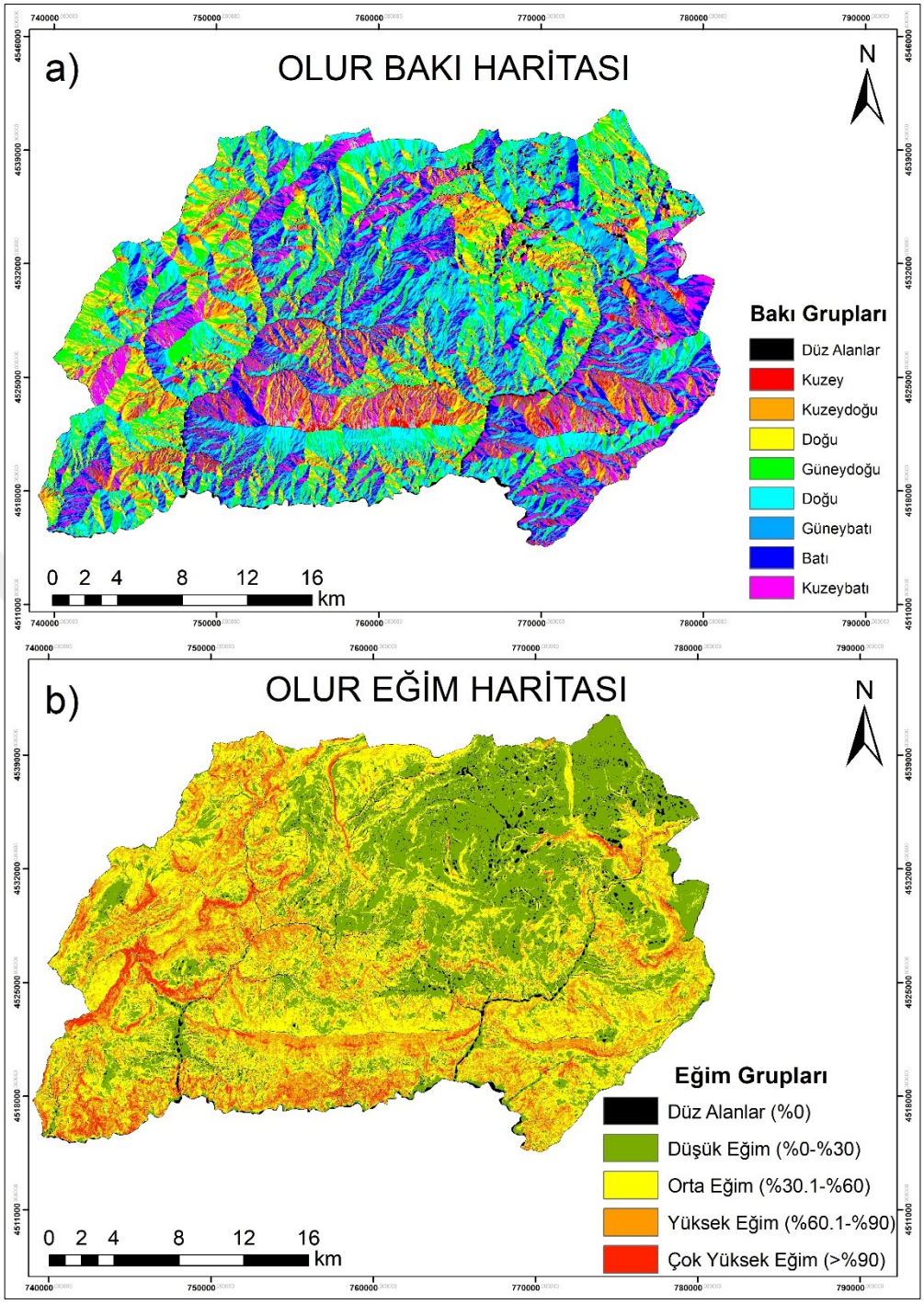


Şekil 14. Veliköy Planlama Birimi'nin bakı (a) ve eğim (b) haritaları

Olur Planlama Birimi'ndeki rakım ise havzanın güney girişinde 830 m'den başlayıp kuzeye doğru 2840 m'ye kadar yükselmektedir (Şekil 15). Planlama biriminin ortalama rakımı 1827 m'dir. Alan dağlık ve yüksek engebeli bir topografyaya sahiptir. Ortalama eğim %42'dir. Nispeten düşük eğimli sahalar Olur'un kuzeydoğusundaki yüksek platolarda toplanmışlardır (Şekil 16b). Yüksek eğimli sahalar ise genellikle batı ve güney kesimlerde yer alır. Özellikle güneyde doğu−batı yönünde uzanan Akdağ silsilesi oldukça belirgindir ve uydu görüntüleri üzerinde uzaktan bile farkedilebilir. Söz konusu dağların oldukça keskin olan sırtlarına çıkıldığında iki yamaç arasındaki karşıtlık hemen göze çarpar: Yüksek eğimli güney yamaçlar bitki örtüsünden yoksunken, kuzey yamaçlar tam kapalı saf Sarıçam ormanlarıyla kaplıdır (Şekil 17). Olur PB'nde genellikle güneşli yamaçlar (batı, güney, güneydoğu) hakimdir (Şekil 16a).



Şekil 15. Olur Planlama Birimi'nin yükseklik haritası



Şekil 16. Olur Planlama Birimi'nin bakı (a) ve eğim (b) haritaları



Şekil 17. Olur Planlama Birimi'ndeki Akdağ sırtından bir görünüm

2.1.3. Arazi Kullanımı ve Arazi Örtüsü (AKAÖ)

Veliköy Planlama Birimi'ndeki arazi kullanımlarına ilişkin alansal veriler Tablo 14'te verilmiştir. Buna göre Veliköy'deki toplam alanın %36,8'si ormanlık (OT alanları hariç), %63,2'si ise ormansız sahadır. Ormanlık sahaların alansal olarak ¾'ünden fazlası normal kapalılıktadır (kapalılık: >%10). Orman dışı arazi kullanımlarının ise en büyük kısmını sırasıyla mera ve ziraat alanları oluşturmaktadır. Bölmecik bazında yapılan incelemelerde bu AKAÖ tiplerinin çoğunlukla PB'nin kuzeyinde ve doğusunda toplandıkları görülmektedir (Şekil 18). Orman arazi kullanım tipine ise daha çok batı, güney ve orta kesimlerde rastlanmaktadır. Normal kapalılıktaki (eski tabirle verimli) ormanların alansal olarak yarısından fazlası tam kapalı (kapalılık sınıfı 3: %70−%100) meşcerelerden oluşur. Ormandaki ağaç türü kompozisyonu alansal olarak incelendiğinde; ibreliler arası karışık ve saf Ladin meşcerelerinin hakim olduğu görülür.



Şekil 18. Veliköy PB'ndeki mera arazi kullanımından bir görünüm

Tablo 14. Veliköy ve Olur PB'lerindeki AKAÖ tipleri ve alansal dağılımı

AKAÖ tipleri	Veliköy Planlama Birimi		Olur Planlama Birimi	
	Alan (ha)	Yüzde (%)	Alan (ha)	Yüzde (%)
Normal kapalı orman	8120,4	28,4	7416,7	9,2
Boşluklu kapalı orman	2392,5	8,4	21270,8	26,3
Ağaçsız orman alanı*	2249,6	7,9	43861,1	54,2
Mera	9288,5	32,5	0	0
Ziraat	6078,2	21,2	7642,5	9,4
İskan	421,2	1,5	601,1	0,8
Diğer (E, Oc, Su)	33,2	0,1	71,9	0,1
Toplam	**28583,6**	**100,0**	**80864,1**	**100,0**

* Bu sınıfa; OT: Orman toprağı, T: Taşlık ve kayalık sahalar, OT-E: Orman toprağı ve erozyon sahaları girmektedir.

Olur Planlama Birimi'nin AKAÖ tiplerine ilişkin alansal veriler Tablo 14'te yer almaktadır. Tabloya göre Olur PB'ndeki toplam alanın %35,5'i ormanlık (OT alanları hariç), %64,5'i ise ormansız sahadır. Ancak Veliköy PB'nden farklı olarak buradaki ormanların yaklaşık ¾'ü boşluklu kapalı (kapalılık <%10) yani odun üretimi açısından verimsizdir. Orman dışı arazi kullanımlarının en büyük kısmını sırasıyla mera ve ziraat alanları oluşturmaktadır. Fakat mera alanları da genellikle verimsiz olduğundan meşcere haritalarında OT tipiyle isimlendirilmişlerdir. Dolayısıyla Tablo 14'te yer alan OT miktarı orman içindeki aktüel boşluklar olarak düşünülmemelidir. Bölmecik

bazında yapılan incelemelerde orman arazi kullanımının çoğunlukla PB'nin güneyinde bulunan Akdağ'ın kuzey yamaçlarında toplandığı görülmüştür. Ayrıca batı ve doğu kesimlerde lokal olarak saf Sarıçam ormanlarına da rastlanır. Fakat bu ormanlar zaman içerisinde parçalanmıştır ve ekolojik bütünlüklerini kaybetmek üzeredirler. Benzer şekilde özellikle güneydoğu kesimlerde boşluklu kapalı ormanlar da mevcuttur. Normal kapalılıktaki ormanların alansal olarak yarısından fazlası tam (3) kapalı meşcerelerden oluşur. Ormandaki tür kompozisyonu alansal olarak incelendiğinde; normal kapalılıktaki ormanlarda saf Sarıçam, boşluklu kapalı ormanlarda ise ibreli−yapraklı karışık meşcerelerin hakim olduğu görülür (Şekil 19).



Şekil 19. Olur PB'nde boşluklu ve normal kapalılıktaki orman arazileri

2.1.4. Biyoçeşitlilik

Veliköy Planlama Birimi; Biyoçeşitliliğin Ormancılığa Entegrasyonu Projesi kapsamında pilot bölgelerden biri seçilmiş ve bu kapsamda OGM ve DKM işbirliğinde 30 Mayıs−30 Kasım 2011 tarihleri arasında hızlı biyoçeşitlilik değerlendirme çalışması yapılmıştır (OGM, 2013). Bu çalışmada Şavşat OİM düzeyinde belirlenen hedef türlere yönelik, 2012 yılındaki plan yenileme çalışmaları sırasında tekrar araziye çıkılmıştır. Tür uzmanları, modelleme uzmanı ve biyoçeşitlilik koordinatörünün katıldığı arazi çalışmaları sonucunda Veliköy PB'nde 75 tür kaydı toplanmış ve bunlar içinden dokuzu hedef tür olarak belirlenmiştir. Söz konusu türler Tablo 15'te ayrıntılı

olarak sunulmuştur. Ayrıca aynı proje kapsamında maktalı ormanlardan d ve e gelişme çağında olanlar yanı sıra değişik yaşlı seçme ormanlarından A ve D rumuzlu olanlar doğal yaşlı orman özelliği gösterebilme potansiyeli nedeniyle ziyaret edilmiştir. Ziyaret esnasındaki gözlemler neticesinde bunların sınırları belirlenerek haritalara işlenmiştir (OGM, 2013). Nihayetinde hedef türlerin yaygın olarak bulunduğu kesimler ve yüksek koruma değeri taşıyan alanlar orman amenajman planında doğa koruma fonksiyonuna ayrılarak buralarda ormancılık faaliyetlerinin yapılması önlenmiştir. Benzer şekilde, örneğin kara akbabanın bulunduğu Kirazlı Köyü çevresindeki ormanlarda bakım ve üretim faaliyetlerinin bu türün isteklerine göre ayarlanması yani Şubat−Ağustos periyodu dışında yapılması planlanmıştır. Bu tip zonlama çalışmaları ve türe özel düzenlenmiş silvikültürel reçeteler yardımıyla biyoçeşitlilik değeri ormancılığa entegre edilmiştir (OGM, 2013).

Tablo 15. Veliköy Planlama Birimi'ndeki hedef türler

Tür grubu	Türkçe adı	Latince adı
Bitkiler	Huş Papaz külahı Yabani karanfil	*Betula recurvata* *Euonymus leiophloea* *Dianthus liboschitzianus*
Büyük memeliler	Boz ayı Karaca	*Ursus arctos* *Capreolus capreolus*
Küçük memeliler	Kısa kulaklı kır faresi	*Microtus majori*
Kuşlar	Şah kartal Kara akbaba	*Aquila heliaca* *Aegypius monachus*
Sürüngen−amfibi	Kafkas semenderi	*Mertensiella caucasica*

Veliköy PB'nde daha önce yapılmış başka vejetasyon çalışmaları da vardır. Örneğin Eminağaoğlu ve ark. (2007) Veliköy OİŞ'ni –milli parkı da dahil ederek– fitososyolojik açıdan incelemiş ve yedi farklı bitki toplumuna ayırmıştır. Bunlar; Ladin−Meşe (3−4 m alt tabakalı), Sarıçam−Katran Ardıcı (2−3 m Ardıç alt tabakalı), Kafkas Göknarı−Doğu Kayını (1−3 m alt tabakalı), Sarıçam−Doğu Ladini (2−3 m alt tabakalı), Kafkas Göknarı−Doğu Ladini (2−3 m Meşe alt tabakalı), Kafkas Göknarı−Sarıçam (2−3 m alt tabakalı) ve Sarıçam−Adi Ardıçtır (1−2 m Ardıç alt tabakalı).

Güncellenmiş amenajman verisi ile CBS ortamında yapılan sorgulamalara göre; Veliköy PB'ndeki normal kapalı ormanlarda toplam 77 farklı meşcere tipi bulunmaktadır. Bu sayıya boşluklu kapalı orman ve diğer arazi kullanımlarına ait tipler de eklenince toplam meşcere tipi sayısı 95'e çıkmaktadır. Ormanlarda alansal olarak en geniş yayılım gösteren tür Ladindir. Onu sırasıyla Göknar, Meşe ve Sarıçam takip eder. Veliköy PB'nde karışık Sarıçam−Ladin−Göknar meşcerelerine sıklıkla rastlanır. İç kesimlerde ise Göknarın değişik yaşlı seçme kuruluşları görülür. Sayılan bu özelliklerinden dolayı Uluslararası Çevre Koruma Örgütü (CI) bu bölgeyi dünyada tehlike altında bulunan 34 sıcak noktadan biri olarak ilan etmiştir (CEPF, 2013'e atfen Vatandaşlar ve ark., 2020). Bölgenin önemini kabul eden Dünya Doğayı Koruma Vakfı'na (WWF) göre de Kafkasya ılıman ormanları yeryüzünde koruma öncelikli 200 ekolojik noktadan biridir (WWF 1997'ye atfen Manvelidze ve ark., 2009). Eminağaoğlu ve Anşin (2004)'e göre Veliköy PB'ndeki endemizm oranı %6,3'tür.

Olur Planlama Birimi; ağaç türü çeşitliliği açısından Veliköy PB kadar zengin değildir. Normal kapalılıktaki ormanlarda yalnızca 19 farklı meşcere tipi bulunmaktadır. Bu sayıya boşluklu kapalı orman ve diğer arazi kullanımlarına ait tipler de eklenince toplam meşcere tipi sayısı 38'e çıkmaktadır. Bölgede 2014 yılında yapılan orman amenajman planı yenileme çalışmalarıyla eş zamanlı olarak bitki uzmanları tarafından yürütülen hızlı ekolojik değerlendirme çalışmalarına göre bölgede görülebilen otsu ve odunsu türler Tablo 16'da verilmiştir (OGM, 2015b). Ayrıca, Eken ve ark. (2006)'nın bölgedeki başka bir çalışmasına göre buradaki endemik türler; kaya soğanı (*Allium incisum*), Oltu soğanı (*Allium oltense*), bayır geveni (*Astragalus acmophylloides*), karaçanak (*Astragalus nigrocalycinus*), Oltu geveni (*Astragalus oltensis*), deli şeytanayağı (*Bupleurum schistosum*), bozkır çanı (*Campanula sorgerae*), peygamberçiçeği (*Centaurea taochia*), çolak hezaren (*Delphinium munzianum*), Narman dolaması (*Draba narmanensis*), dadaş buğdayı (*Elymus sosnowskyi*), tüylü şahinotu (*Hieracium caloprasinum*), zebil şahinotu (*Hieracium hypopityforme*), kirpi şahinotu (*Hieracium onosmaceum*) ve yazı şahinotu (*Hieracium variegatisquamum*)'dur.

Tablo 16. Olur Planlama Birimi'ndeki ağaç ve diğer bitki türleri (OGM, 2015b)

Tehlike kategorisi	Türkçe adı	Latince adı
–	Sarıçam	*Pinus sylvestris* L.
–	Ardıç	*Juniperus* sp.
–	Çınar	*Platanus orientalis*
–	Meşe	*Quercus* sp.
–	Titrek Kavak	*Populus tremula*
–	Akçaağaç	*Acer* sp.
–	Ahlat	*Pyrus elaeagnifolia*
–	Üvez	*Sorbus torminalis*
–	Laden	*Cistus creticus*
–	Tespih ağacı	*Styrax officinalis*
–	Kızılcık	*Cornus mas*
–	Alıç	*Crateagus* sp.
–	Böğürtlen	*Rubus* sp.
–	Katırtırnağı	*Spartium junceum*
–	Kekik	*Thymus* sp.
–	Adaçayı	*Salvia* sp.
–	Eğrelti	*Pteridium* sp.
–	Sumak	*Rhus* sp.
–	Çayır otları	*Greminea*
EN*	Peygamber çiçeği	*Centaurea taochia*
CR**	Düğün çiçeği	*Delphinium munzianum*
Endemik ve CR	Geven türleri	*Astragalus* sp.

* EN: IUCN'in "tehlikede" kategorisinde; **CR: IUCN'in "kritik" kategorisinde.

Yaban hayatı açısından ise bölgede boz ayı (*Ursus arctos*) ve yaban keçisine (*Capra aegagrus*) rastlamak mümkündür (Okutucu, 2007). Ayrıca 2018 yaz döneminde tarafımızca gerçekleştirilen envanter çalışmaları esnasında PB'nin kuzeydoğusunda bulunan Erikli Yaylası civarındaki Sarıçam ormanlarında karacaya (*Capreolus capreolus*) da rastlanmıştır. Ancak sayılan bu türler ve diğer biyoçeşitlilik unsurları Veliköy PB'nde olduğu gibi Olur PB orman amenajman planına yansıtılmamıştır.

2.1.5. İklim

Veliköy Planlama Birimi; Doğu Karadeniz'in nemli iklimi ve Doğu Anadolu'nun karasal iklimi arasındaki geçiş kuşağında yer almaktadır (OGM, 2013). Ancak, aktüel yağış ve sıcaklık şartları göz önünde bulundurulduğunda bölgede Karadeniz iklim özelliklerinin daha baskın olduğu bildirilmektedir (Barut, 2010). Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilen güncel verilere göre; 1125 m rakımdaki 1026 no'lu Şavşat iklim istasyonunda (18217 no'lu Otomatik Meteoroloji Gözlem

İstasyonu) 1965−2018 periyodu için ölçülen yıllık sıcaklık ortalaması 9,8 °C'dir. En düşük ort. sıcaklık değeri Ocak ayında (−1,9 °C) görülürken, en yüksek ort. sıcaklık değeri Ağustos ayında (20,6 °C) görülür (Ek-1). Bölgedeki yıllık toplam yağış ortalaması 633 mm'dir. Yağışın aylara dağılımı genel olarak dengeli olup en düşük ve en yüksek yağışlar sırasıyla; Ağustos (33 mm) ve Haziran (84 mm) aylarında gözlenmektedir (MGM, 2019).

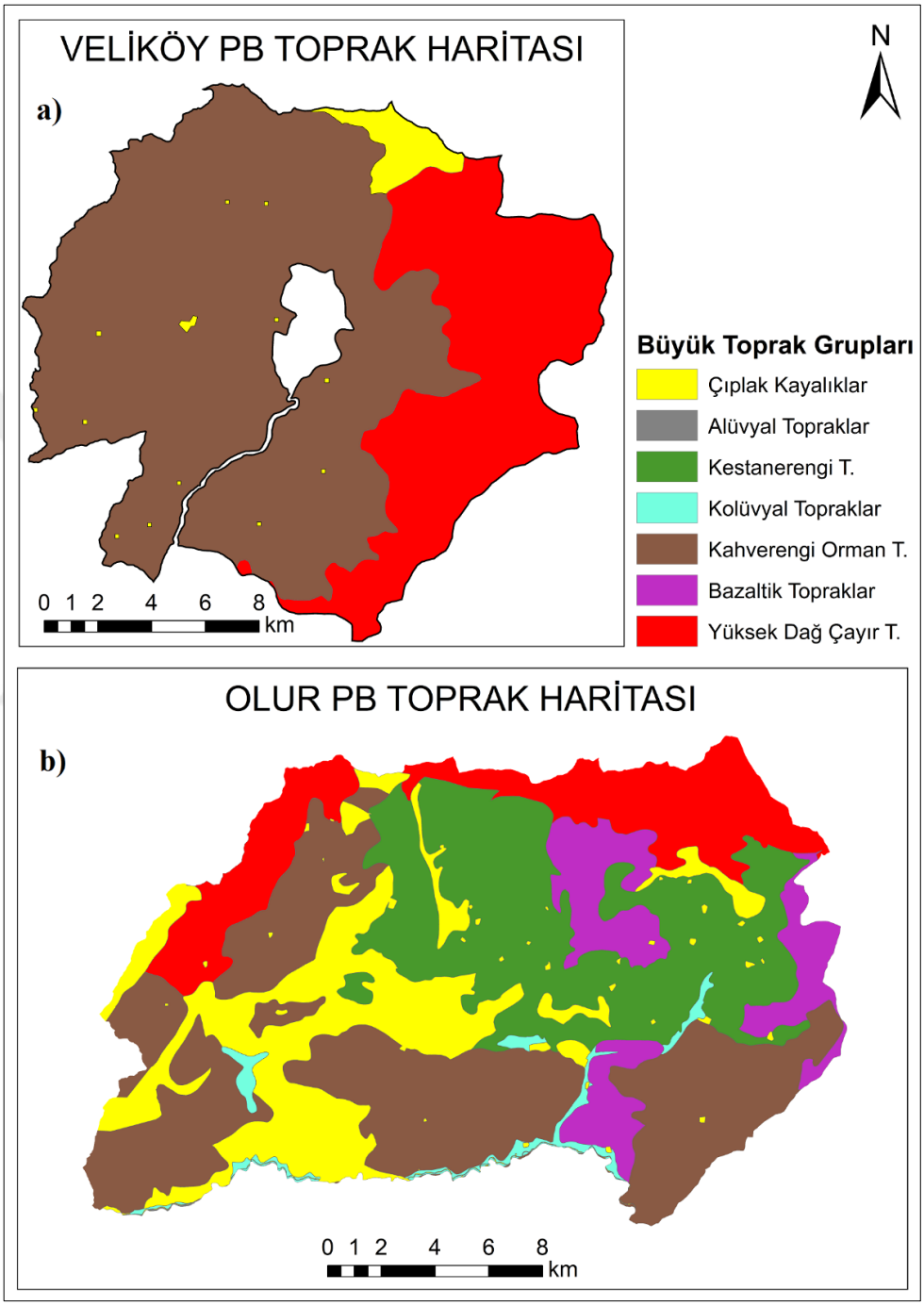
Erinç (1965)'in sınıflandırma sistemine göre Veliköy PB genelde nemli iklim tipine girmektedir. Vadi tabanına yakın alçak kesimlerde yer yer yarı kurak iklim tipi görülebilse de alanın ortalama rakımı (1983 m) dikkate alındığında nemli orman bitki örtüsü kuşağında yer aldığı anlaşılmaktadır (Duman, 2017).

Olur Planlama Birimi; Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer aldığından coğrafi olarak karasal iklim kuşağındadır. Ancak, lokal olarak Karadeniz ardı ortamda olmasından dolayı bölgedeki aktüel iklim özellikleri tipik karasal iklimden daha yumuşaktır (OGM, 2015b). 1395 m rakımlı ve 1651 no'lu Olur iklim istasyonundan (18367 no'lu Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu) 1990−2018 periyodu için temin edilen verilere göre; bölgenin yıllık sıcaklık ortalaması 10,3 °C'dir. En düşük ort. sıcaklık değeri Ocak ayında (−2 °C) görülürken, en yüksek ort. sıcaklık değeri Temmuz ayında (22,7 °C) görülür (Ek-1). Bölgedeki yıllık toplam yağış ortalaması 430 mm'dir. En düşük ve en yüksek yağış alan aylar sırasıyla 16 mm ve 60 mm ile Şubat ve Hazirandır (MGM, 2019). Erinç (1965)'in sınıflandırma sistemine göre Olur PB genel olarak yarı kurak iklim tipine sahiptir. Havzada yüksek rakımlı kesimlere çıkıldıkça yarı nemli iklim tipi hakim olmaya başlar (Duman, 2017).

2.1.6. Toprak ve Anakaya

Veliköy Planlama Birimi'nin orman bitki örtüsü yönünden zengin batı ve orta kesimlerinde çoğunlukla kahverengi orman toprakları bulunmaktadır (Şekil 20a). Doğuya doğru yükselen rakım ve değişen bitki örtüsü bu kesimlerde yüksek dağ çayır topraklarını ön plana çıkarmıştır. Özellikle kuzey kesimde kalan ve Gürcistan ile sınırımızı oluşturan alpin ve nival zondaki dağların zirvelerinde ise toprak oluşumu gerçekleşmemiştir. Bu kesimlerde çıplak kayalıklar görülür. TRGM (2014)'den temin edilen Büyük Toprak Grupları (BTG) haritasının CBS'deki konumsal analizleri

sonucuna göre BTG'larının çalışma alanındaki dağılımları Tablo 17'de verilmiştir. Buna göre Veliköy'de en yüksek ve en düşük alansal dağılıma sahip olan BTG'ları sırasıyla; kahverengi orman toprağı ve çıplak kayalıklardır.



Şekil 20. Veliköy (a) ve Olur (b) PB'lerinin toprak haritaları

Veliköy Planlama Birimi'nin jeolojisi de tıpkı BTG gibi nispeten homojen bir yapı göstermektedir. Alanın batı ve orta kesimlerinde geç kretease dönemine ait volkanik fasiyesler hakimdir. Doğuda ise kuvaterner döneminden bazalt ve dolorit; oligo−miyosen döneminden ise cipsli tortul kayaçlar görülür (GSC, 1995; Duman, 2017).

Tablo 17. Büyük Toprak Grupları'nın çalışma alanlarına dağılımı

Büyük Toprak Grupları	Veliköy PB		Olur PB	
	Alan (ha)	Alan (%)	Alan (ha)	Alan (%)
Çıplak kaya	858,0	3,0	14717,0	18,2
Alüvyal topraklar	–	–	8,0	0,1
Kestanerengi topraklar	–	–	21275,0	24,6
Kolüvyal topraklar	–	–	146,0	1,8
Kahverengi orman toprakları	19151,0	67,0	26281,0	32,5
Bazaltik topraklar	–	–	7278,0	9,0
Yüksek dağ çayır toprakları	8575,0	30,0	11159,0	13,8

Olur Planlama Birimi toprak açısından Veliköy'e göre daha heterojen bir yapı sunmaktadır (Şekil 20b). Genellikle çalışma alanının güneyindeki Akdağ silsilesinin kuzey yamaçlarında toplanan ormanlık alanlarda kahverengi orman toprakları bulunur. Aynı toprak tipi özellikle batı kesimlerde parçalanmaya uğramış orman bloklarının bulunduğu yerlerde de görülmektedir. Sahanın orta kesimlerindeki taşlık ve kayalık alanlarda toprak örtüsü yoktur. Yine orta kesimlerde zayıf bitki örtüsüne sahip alanlarda ise kestanerengi topraklar görülür. Kuzey kesimlerde ise rakımın artması ve eğimin nispeten düşmesiyle birlikte yüksek dağ çayır toprak grubuna rastlanır. Bu kesimler aynı zamanda Artvin ilinin güney sınırını oluşturmaktadır. TRGM (2014)'den temin edilen BTG haritasının CBS'deki konumsal analiz sonucuna göre BTG'larının çalışma alanındaki alansal dağılımı Tablo 17'de verilmiştir. Buna göre Olur'da en yüksek ve en düşük alansal dağılışa sahip olan BTG'ler sırasıyla; kahverengi orman toprağı ve alüvyal topraklardır.

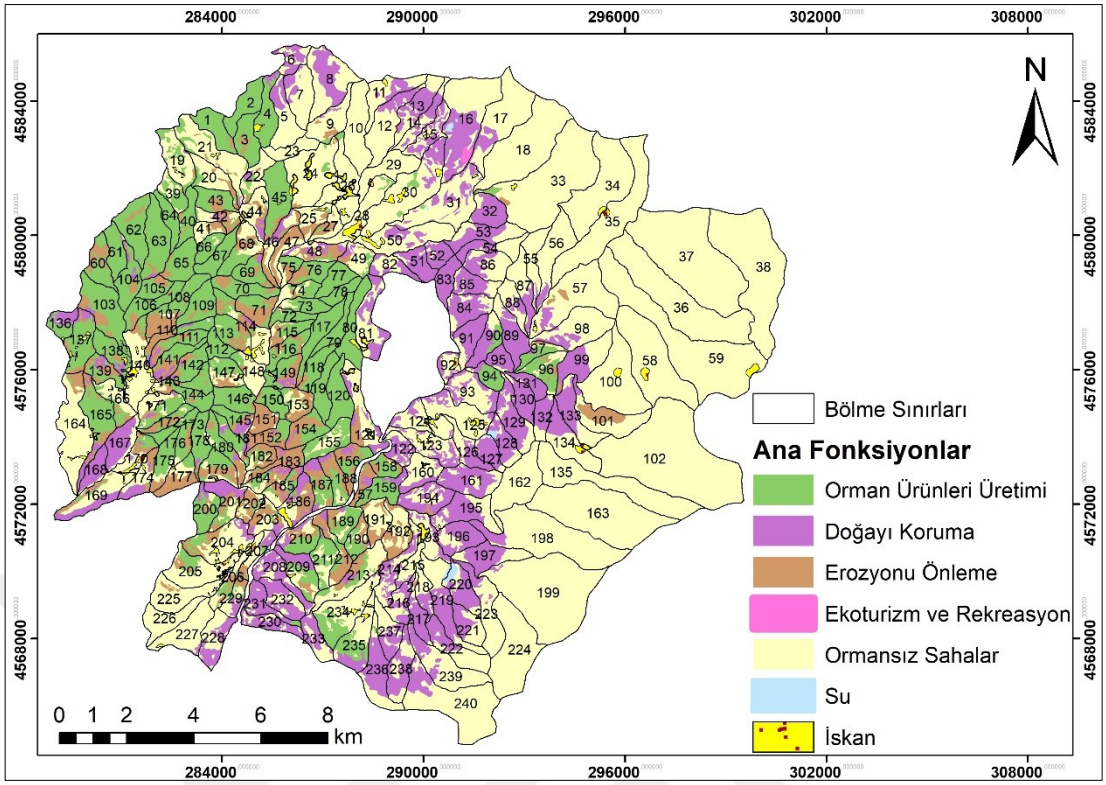
Olur, jeoloji açısından ele alındığında yine Veliköy'den daha heterojen bir yapı göstermektedir. Alanın kuzeyde kalan yarısı andezit, split, porfrit volkanik

kayaçlarından oluşmaktadır. Güney kesimlerde ise eosen ve erken kretase dönemine ait fliş; geç kretase ve paleozoik dönemlere ait tortul kayaçlar ve oligo−miyosen döneminden kalma cipsli fasiyesler bulunur (GSC, 1995; Duman, 2017).

2.1.7. Orman Fonksiyonları

Veliköy Planlama Birimi'nin orman amenajman planında dört ana orman fonksiyonu belirlenmiştir (OGM, 2013). Bunlar; (i) orman ürünleri üretim fonksiyonu, (ii) doğayı koruma fonksiyonu, (iii) erozyonu önleme fonksiyonu, (iv) ekoturizm ve rekreasyon fonksiyonudur. Planlama birimine ait fonksiyon haritası incelendiğinde (Şekil 21), ormanlık alanların yarısından fazlasının üretim amaçlı (odun üretimi, ODOÜ vd.) olarak ayrıldığı göze çarpmaktadır. Daha önce topografik yapı bölümünde bahsedilen doğu kesimlerdeki %80 ve üzerinde eğime sahip orman sahaları ise topluca doğa koruma fonksiyonuna ayrılmıştır. Bu kesimlerde eğim ve rakım birden yükselişe geçtiği için üretim ve bölmeden çıkarma olanakları zorlaşmaktadır. Erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılan orman alanlarının ise 299 sayılı tebliğdeki (OGM, 2014b) kriter ve göstergeler uyarınca planlama birimine parçalı olarak dağıtıldıkları görülmektedir. Son olarak kuzeydeki Balıklı Göl'ün çevresini saran yaklaşık 1 ha büyüklüğündeki Göknar meşceresi insanların yürüyüş parkuru ve piknik alanı amaçlı kullanımları için ekoturizm ve rekreasyon fonksiyonuna ayrılmıştır. Veliköy PB'nin ortasında ve güneyinde bulunan MP'ın Karagöl ve Sahara bölümleri ekoturizm açısından oldukça meşhur olmasına rağmen DKMP tarafından işletildiği için Veliköy'ün orman fonksiyonları haritasında gösterilmemiştir.

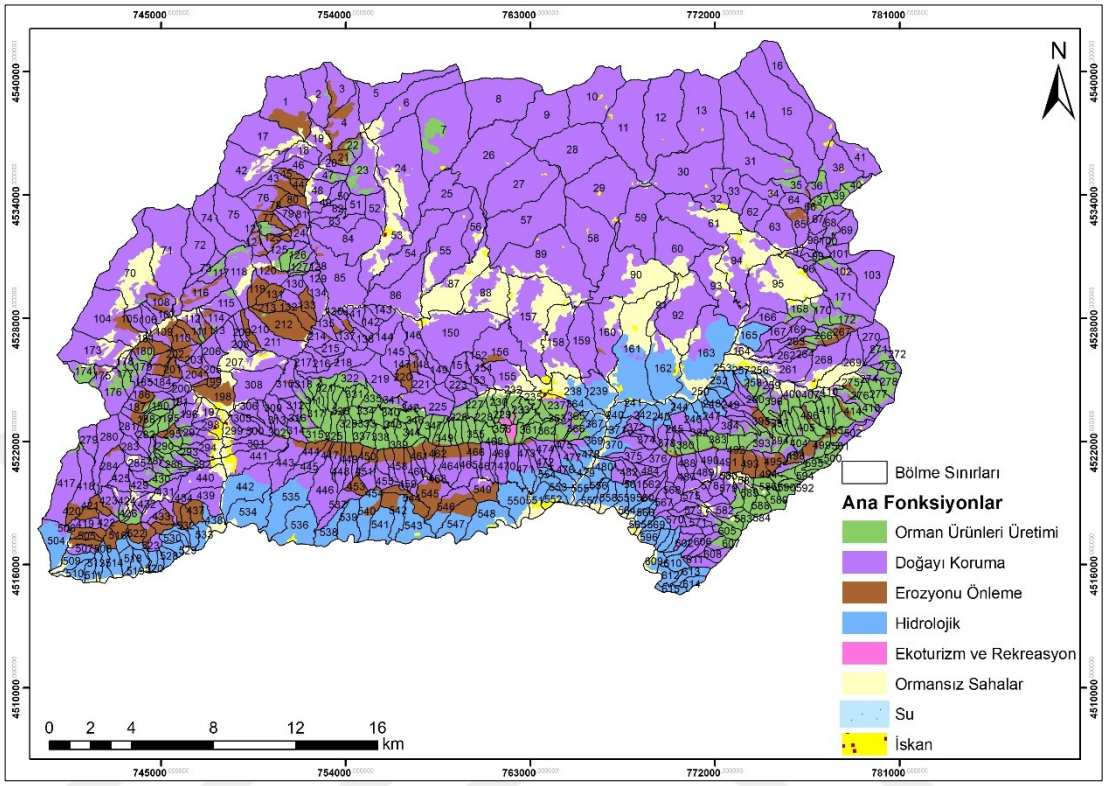
Veliköy PB'ndeki ikincil (yan) fonksiyonlar incelendiğinde; yalnızca ana fonksiyonu doğayı koruma olan ormanların bir kısmına yan amaç olarak "yetişme yeri çok kötü alanlar" ya da "toprak koruma" hedefinin atandığı anlaşılmaktadır. Diğer fonksiyonlara herhangi bir ikincil fonksiyon atanmamıştır. Diğer yandan 89 numaralı bölmede üç bölmecikten oluşan bir tohum meşceresi nüvesi bulunmaktadır. Bu bölmecikler etrafıyla birlikte tohum meşceresi işletme amacı altında Göknar+Sarıçam İşletme Sınıfı olarak planlanmıştır.



Şekil 21. Veliköy Planlama Birimi orman fonksiyonları haritası

Olur Planlama Birimi'nde ise beş ana orman fonksiyonu belirlenmiştir (OGM, 2015b). Bunlar; (i) orman ürünleri üretim fonksiyonu, (ii) doğayı koruma fonksiyonu, (iii) erozyonu önleme fonksiyonu, (iv) hidrolojik fonksiyon, (v) ekoturizm ve rekreasyon fonksiyonudur. Planlama birimine ait fonksiyon haritası incelendiğinde (Şekil 22), Akdağ ve Ziyaret Dağı'nın kuzey yamaçlarındaki orman alanlarının blok halde üretim fonksiyonuna verildiği görülmektedir. Bu sahalar Olur PB'nin oldukça sınırlı olan verimli orman varlığını oluşturan kesimlerin neredeyse tamamını oluşturmaktadır. Veliköy PB orman fonksiyonları haritasından farklı olarak kuzeyde yüksek kesimlerdeki mera alanlarının da yanlışlıkla doğa koruma fonksiyonu içerisine atıldığı anlaşılmaktadır. Halbuki buralar orman dışı sahalardandır. Dolayısıyla Şekil 22'deki sarı renkli ormansız sahalar oldukça sınırlı kalmıştır. Diğer taraftan bozuk vasıflı ya da yeni tabiriyle boşluklu kapalı meşcerelerin genel olarak erozyonu önleme fonksiyonuna verildiği göze çarpmaktadır. Olur Deresi'nin havzanın güneyinde Oltu Çayı ile birleşerek batıya doğru aktığı güzergah üzerindeki bölmecikler hidrolojik fonksiyona ayrılmıştır. Bunun nedeni; söz konusu suyolunun 2015 yılında su tutmaya

başlayan Ayvalı Barajı'nı beslemesidir. Olur PB'ndeki bölmeciklere ikinci (yan) fonksiyon atanmamıştır (OGM, 2015b).



Şekil 22. Olur Planlama Birimi orman fonksiyonları haritası

2.2. Kullanılan Materyaller

Bu çalışmada çeşitli uzaktan algılama ürünleri, mekanik ve dijital arazi ekipmanları, iklim verileri ve amenajman planı verileri kullanılmıştır. Konumsal verilerin analizi ve haritaların üretilmesi Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımlarından ArcGIS 10.2'de (ESRI, 2012); istatistik verilerin analizi ise SPSS 20 (SPSS, 2012) paket programında yapılmıştır. Kullanılan materyallere ait tüm özellikler takip eden bölümlerde ayrıntılı olarak yer almaktadır.

2.2.1. Uzaktan Algılama Ürünleri

2.2.1.1. Hava Fotoğrafları ve Ortofotolar

Bu çalışmadaki haritalara altlık teşkil eden temel uzaktan algılama ürünü ortofotolardır. Ortofotolar, Harita Genel Komutanlığı (HGK) tarafından çekilen

renkli−kızılötesi sayısal hava fotoğraflarından türetilmişlerdir. Söz konusu hava fotoğraflarının yersel çözünürlükleri 0,30 ile 0,45 m arasında değişmektedir (Çam ve ark., 2013). Bu çalışmada kullanılan hava fotoğrafları 2014 ve 2015 yıllarına ait olup 4 bantlı (kırmızı, yeşil, mavi ve yakın kızılötesi) multispektral veri olarak alınmaktadırlar. Çekimler Microsoft'un UltraCam Eagle dijital kamerasıyla gerçekleştirilmiştir. Kamera özellikleri Tablo 18'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu verisetlerinin renk dengelemesi ÇNHRP kapsamında Piramid Fotogrametrik Hizm. A.Ş. tarafından gerçekleştirilmiş ve ortofotolara dönüştürülmüştür. Ortofotoların arazi doğrultması yanı sıra bulut ve gölge etkilerinin giderilmesi işlemi yine aynı proje kapsamında Doç. Dr. Mehmet YAVUZ tarafından gerçekleştirilmiştir. Dönüşümü yapılmış nihai ürünün doğruluğu yaklaşık ± 4 m'dir (Çam ve ark., 2013). Söz konusu ürünler bilimsel çalışmalarda kullanılmak üzere ÇNHRP ve TRGM'nden temin edilmiştir.

Tablo 18. HGK'ya ait hava kamerasının teknik özellikleri (Çam ve ark., 2013)

Spesifikasyon	Açıklama
Cihazın adı	Microsoft UltraCam Eagle
Görüntü boyutu	20010×13080 piksel
Piksel boyutu	5,2 µm
Bant sayısı	Siyah−beyaz (Pan) + Kırmızı, Yeşil, Mavi, Yakın−kızılötesi
Odak uzaklığı	80 mm

2.2.1.2. Uydu Görüntüleri

Temin edilen ortofotolar Olur PB'nin batı kısımlarını ve Veliköy PB'nin doğusundaki küçük bir kısmı kapsamamaktadır. Dolayısıyla bu kısımlar için ilave olarak WorldView-2 ve Landsat-8 uydu verisi kullanılmıştır.

WorldView-2 uydu verileri OGM'nin JICA ile ortaklaşa yürüttüğü ÇNHRP yönetiminden temin edilmiştir. Temin edilen veriler kırmızı, yeşil, mavi ve yakın kızılötesi bantları içeren kompozit görüntünün daha yüksek çözünürlüklü siyah-beyaz (pankromatik) bant ile çakıştırılması ile oluşan keskinleştirilmiş görüntülerdir. Böylelikle renkli kızılötesi görüntüler 0,5 m yersel çözünürlüğe sahip olmuşlardır.

Önişlemesi yapılmış halde gelen bu görüntüler 2011 ve 2013 yıllarına aittir. Geometrik ve topografik düzeltmeler 5 m çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli kullanılarak kübik katlama yöntemiyle yapılmıştır. Atmosferik düzeltmelerde ise koyu piksel çıkartma yöntemi kullanılmıştır. Son olarak mozaik görüntülerdeki renk tonu dengeleme işlemleri doğrusal gerdirme algoritmasıyla (Richards, 2013) gerçekleştirilmiştir. Nihai ürünlerin karesel ortalama hataları (RMSE) 0,25 m'den daha azdır (Vatandaşlar ve Yavuz, 2017). WorldView-2 uydu platformuyla ilgili diğer teknik bilgilere Tablo 19'dan ulaşılabilir. Bu platformun tercih edilmesinin sebebi; WorldView-2 sensörlerine ait keskinleştirilmiş (pan-sharpened) görüntülerin çok yüksek çözünürlüklü olmasıdır. Bu sayede özellikle Olur PB'ndeki bozuk arazilerde yaygın olarak gözlenen küçük çalıların da haritalanabilmesi sağlanmıştır. Bunun yanısıra WorldView-2 görüntüleri vejetasyon haritacılığına uygun spektral band genişlikleri ile Türkiye'de ormancılıkta sıklıkla tercih edilen uydu verilerindendir. Nitekim, Orman Genel Müdürlüğü (OGM) bu verileri periyodik olarak temin edip amenajman çalışmaları ve diğer projelerde (GEF-II vd.) aktif olarak kullanmak üzere kendi arşivinde saklamaktadır.

Landsat-8 verileri ise Earth Explorer'dan (URL-3, 2018) atmosferik ve topografik düzeltmeleri yapılmış şekilde sipariş edilmiştir. Yeryüzü yansıma (surface reflectance) değerlerine dönüştürülmüş olarak gelen görüntüler aynı siteden indirilmiştir (URL-3, 2018). Hem Olur hem de Veliköy için indirilen iki görüntünün de alım tarihi 23 Eylül 2015 olup seviyesi Level1T (arazi doğrultmalı)'dir. Görüntü ve uydu platformuyla ilgili diğer bilgiler Tablo 19'da sunulmuştur.

Tablo 19. WorldView-2 ve Landsat-8 özellikleri (Digital Globe, 2010)

Spesifikasyon	WorldView-2	Landsat-8
Fırlatma	8 Ekim 2009, Kaliforniya	11 Şubat 2013, Kaliforniya
Yörünge	770 km yükseklikte güneş senkronizasyonlu	705 km yükseklikte güneş senkronizasyonlu
Ağırlık	2800 kg	2623 kg
Çerçeve Genişliği	16,4 km	185,0 km
Yersel çözünürlük	Pan: 0,46 m, MS: 1,84 m	Pan: 15 m, MS: 30 m
Radyometrik çöz.	11 bit	16 bit
Zamansal çöz.	1,1 gün	16 gün
Spektral çöz.	Kıyı: 400−450 nm, Mavi: 450−510 nm, Yeşil: 510−580 nm, Sarı: 585−625 nm, Kırmızı: 630−690 nm, Kırmızı−uç: 705−745 nm, NIR1: 770−895 nm, NIR2: 860−1040 nm, Pan: 450−800 nm	Kıyı: 430−450 nm, Mavi: 450−510 nm, Yeşil: 530−590 nm, Kırmızı: 630−670 nm, NIR: 850−880 nm, SWIR1: 1570−1650 nm, SWIR2: 2110−2290 nm; Pan: 500−680 nm, Sirüs: 1360−1380 nm

2.2.1.3. Sayısal Yükseklik Modeli ve Memleket Haritaları

Kullanılan son uzaktan algılama ürünü; yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli (SYM) ve memleket haritalarıdır. SYM'leri HGK tarafından yukarıda özellikleri belirtilen stereo hava fotoğrafları kullanılarak 5 m çözünürlükte üretilmişlerdir (Vatandaşlar ve Yavuz, 2017). Çam ve ark. (2013) bu verilerin %90 güven düzeyinde ±3 m dikey doğruluğa sahip olduklarını bildirmektedirler. Söz konusu SYM'ler yalnızca konumsal analizlerde değil, uydu görüntülerinin kalibrasyonunda da kullanılmışlardır. SYM verileri ÇNHRP yönetiminden temin edilmiştir.

Topografik memleket haritaları bu çalışmada kullanılan diğer ürünlerdendir. Bu haritalar HGK tarafından 1/25000 ölçekli olarak pafta bazında üretilmektedirler. Veliköy PB'ni kapsayan paftalar; F48b2, F48b3, F48b4, F48c2, F49a1, F49a4 ve F49d1'dir. Olur PB'ni kapsayan paftalar ise; G47b2, G47b3, G47b4, G48a1, G48a2, G48a3, G48a4, G48b1, G48b4 ve G48d2'dir. G48d2 paftası 1993 yılına ait olup, diğer tüm paftalar 2009 yılında üretilmiştir.

2.2.2. Teknik Alet ve Ekipmanlar

Arazi çalışmaları boyunca tek ağaç özellikleri, meşcere parametreleri ve ekolojik faktörlerin ölçümünde kullanılan mekanik ve dijital aletler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

Mekanik aletler;

- Ağaç çaplarının ölçümü için 60 cm'lik Haglöf çap ölçer (kumpas),
- Yaş tespiti için 40 cm'lik artım burgusu,
- Son 10 yıllık halka ve çift kabuk kalınlığı ölçümü için artım çekici,
- Meşcere göğüs yüzeyi ölçümü için aynalı relaskop,
- Yüzey pürüzlülüğü ölçümü için 5 mm kalınlığında zincir,
- Ot tabakasında kapalılık ölçümü için 1 m'lik transekt çubuğu,
- Diri örtü ve meşcere kapalılığının ölçümü için şerit metre,
- Ölü örtü kalınlığı ölçümü için cetvel,
- Üst toprak örneği almak için kazma.

Dijital aletler;

- Konum belirleme için Garmin Montana 650s dokunmatik GPS (Garmin, 2011),
- Ağaç boyu ve eğim ölçümü için TruPulse360 lazermetre (LTI, 2019),
- Örnek alanların sınırı ve merkezinin belirlenmesi için Haglöf Vertex IV hipsometre (Haglöf, 2016).

Bunlara ilaveten ağaçların işaretlenmesi için raptiye, etiket, tebeşir ve emniyet şeridi gibi araç gereçler de kullanılmıştır. Son olarak, ölçülen değerler ve yapılan gözlemler envanter karnelerine kaydedilmiştir.

2.2.3. İklim Verileri

Şavşat ve Olur Meteoroloji İstasyonları'na ait iklim verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir (Ek-1; Ek-3; Ek-4). Yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık ortalama yağış verileri çalışma alanının tanıtımında, aylık ve yıllık toplam yağış verileri ise RUSLE'nin yağmur erozivite ve yüzeysel akış (R) faktörünün

hesaplanmasında kullanılmıştır. Söz konusu veriler 1125 m rakımdaki 1026 no'lu (18217 no'lu Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu) Şavşat istasyonu için 1965−2018 arasındaki 32 yıllık periyodu kapsamaktadır. 1395 m rakımlı ve 1651 no'lu (18367 no'lu Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu) Olur iklim istasyonundan ise 1990−2018 arasındaki 16 yıllık veri kullanılmıştır (MGM, 2019). Söz konusu periyotlar blok halde olmayıp, özellikle manuel kayıt sisteminden Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonları'na (OMGİ) geçiş sürecinde 3−5 yıllık kesintiler yaşanabilmektedir.

2.2.4. Orman Amenajman Plan Verileri

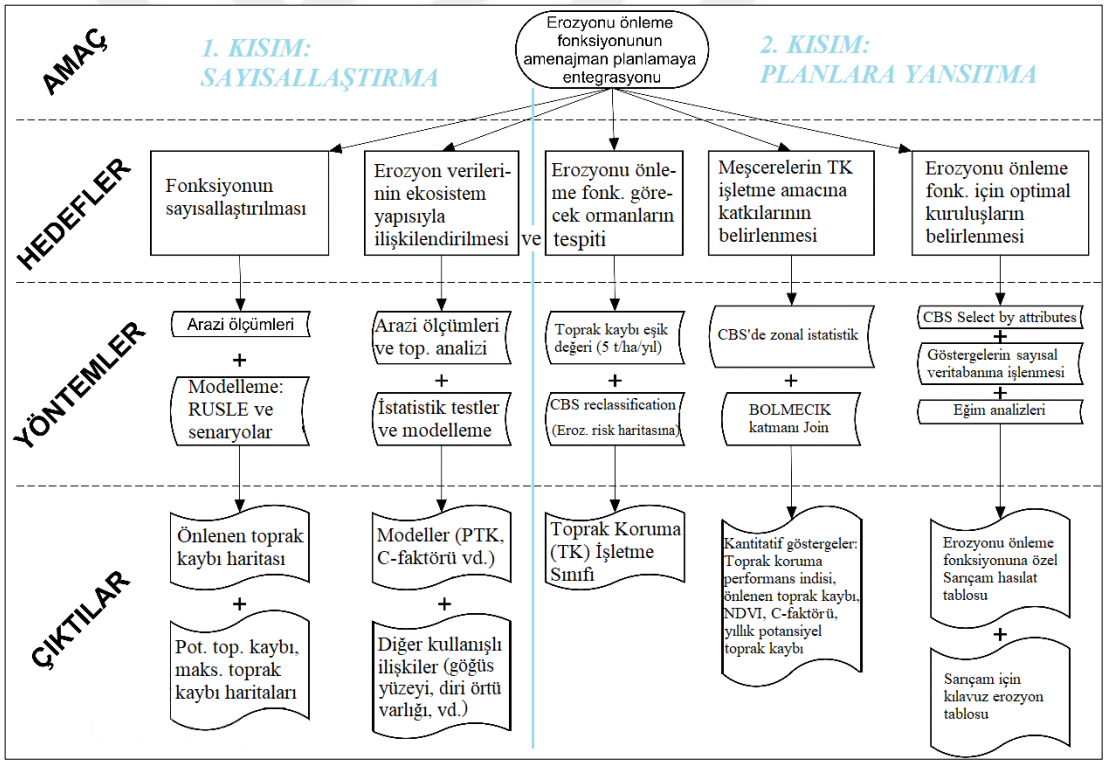
Veliköy ve Olur PB'lerinin Orman Amenajman Planları (OAP) OGM'den temin edilmiştir. Hâlihazırdaki OAP, 2013 ve 2015 yıllarında yenilenmiş olup Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Yönetmeliği (OGM, 2008) ve Fonksiyonel Amenajman Planlaması Arazi ve Büro Çalışmalarına Ait Teknik İzahname'ye (OGM 2012) dayanılarak dijital ortamda hazırlanmıştır. Veliköy OAP (2013−2032) 18. Orman Amenajman Başmühendisliği'ne, Olur OAP (2015−2034) ise ihale yoluyla Ançeo Ltd. Şti.'ye yaptırılmıştır. OAP'larının konumsal veri tabanlarında şimdiki ve bir önceki periyoda ait sayısal meşcere haritaları, kadastro sınırları ve örnek noktalar bulunmaktadır. Örnek noktalarda yapılan ölçümler ve bu noktaların koordinatları da Amenajman Plan Programı (APP) veri tabanında yer almaktadır. Ancak Olur PB'nin plan yenileme çalışmaları esnasında ağaç yaşları tespit edilmediği için Olur'un APP'sinde yaş verisi bulunmamaktadır. Örnek alanlardaki dikili servetlerin hesabında her iki OAP'da da yer alan ve ağaç türleri için ayrı ayrı hazırlanmış olan yöresel tek girişli "Dikili Kabuklu Ağaç Hacim Tabloları" kullanılmıştır (OGM, 2013; OGM, 2015b).

OAP verilerinin yanısıra ilgili orman işletme şeflerinden plan yapımından 2019 yılına kadar geçen süreç için yıllık uygulama raporları (Ek 15'ler, 35 no'lu tablolar), olağanüstü eta hasılat cetvelleri (Ek 13'ler) ve yıllık kesim planları (Ek 7'ler) da temin edilmiştir. İstikşaf çalışmaları boyunca bu tablo ve cetvellerden de yararlanılarak meşcere haritaları CBS ortamında hem grafik (meşcere sınırları) hem de öznitelikseL (meşcere tipleri) olarak 2019 yılına kadar güncellenmiştir.

2.3. Yöntem

2.3.1. Kavramsal Çerçeve ve Senaryo Tasarımı

Ormanların erozyonu önleme fonksiyonunun amenajman planlama sürecine entegrasyonu iki ayrı aşamada gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk kısmında; Veliköy ve Olur PB'lerindeki toprak kayıpları ve erozyonu önleme fonksiyonu sayısallaştırılarak ekosistemlerin biyofiziksel yapısıyla ilişkilendirilmiştir. İkinci kısımda ise; ilk kısımda sayısallaştırılan fonksiyon çeşitli performans göstergeleri yardımıyla orman amenajman planlarına yansıtılmıştır. Bu yolla tamamlanan entegrasyon sisteminin kavramsal çerçevesi ve temel iş adımları Şekil 23'te gösterilmektedir.



Şekil 23. Çalışmanın kavramsal çerçevesi ve temel iş adımları

Erozyonu önleme fonksiyonunun sayısallaştırılması için ekosistem hizmetleri (EH) konseptinden yararlanılmıştır. EH kısaca; ekosistemin yapısı ve fonksiyonlarının toplum refahına sunduğu faydalar olarak tanımlanabilir (Costanza ve ark., 1997; de Groot ve ark., 2010). Bu konsepte göre EH arzı (potansiyel/kapasite) ve aktüel EH (akış) birbirinden farklıdır, dolayısıyla konumsal olarak ayrı ayrı sayısallaştırılmaları

gerekir (Burkhard ve ark., 2014; Burkhard ve Maes, 2017). Bunun için bu tez çalışması kapsamında iki farklı senaryo tasarlanmıştır (Şekil 24). Senaryo 1'de; erozyonu önleme fonksiyonunun çalışma alanlarında hiç sağlanmadığı varsayılarak sahada bitki örtüsünün bulunmadığı *hipotetik durum* haritalanmıştır. Böylelikle çıplak sahada gerçekleşebilecek maksimum erozyon miktarı belirlenmiştir. Senaryo 2'de ise alanda bitki örtüsünün bulunduğu *mevcut durum* haritalanmış ve RUSLE'nin ana çıktısı olan yıllık potansiyel erozyon miktarı tahmin edilmiştir. Senaryo 2'deki erozyon miktarının daha az olacağı açıktır. İşte bu iki değerin CBS ortamında konumsal olarak birbirinden çıkarılması ile önlenen (azaltılan) erozyon miktarı hesaplanabilir. Bu miktar, sahadaki "erozyonu önleme fonksiyonu"nun sayısallaştırılmış halidir. Genel yaklaşım tarzı ve tasarlanan senaryoların grafik gösterimi Şekil 24'te yer almaktadır.



Şekil 24. Erozyonu önleme fonksiyonunun sayısallaştırılması

Şekil 24'te görülen alttaki yatay sütun (y+z), aynı zamanda −teorik olarak− arazi parçasının maksimum toprak koruma kapasitesini (x) göstermektedir. Ancak aktüelde bu kapasitenin hepsi kullanılamayabilir. Aynı şekildeki örnekte de görüldüğü gibi; *mevcut durum*'da maksimum kapasitenin ancak y kadarlık bir kısmı kullanılabilmektedir. Doğru arazi yönetimi (amenajman) ile bu kısmı arttırmak mümkündür. Örneğin; tüm çalışma alanı grift kapalılıkta ibreli ağaç türleriyle çok katlı olarak ağaçlandırılabilirse arazideki maksimum toprak koruma kapasitesine ulaşılır ve erozyon teoride sıfırlanır. Bunun aksine, çalışma alanındaki mevcut orman örtüsü de tahrip edilir ya da tarım alanlarına dönüştürülse arazinin toprak koruma kapasitesi daha da düşecek ve erozyon doğal olarak artacaktır.

Şekil 24'teki tasarım sayesinde sistemin arzu edilen elemanları (x, y, z) RUSLE modeliyle kolayca formülize edilerek konumsal olarak hesaplanabilir. Söz konusu formüller Eşitlik 1−3'te verilmiştir.

$$x = R \times K \times LS \quad (1)$$

$$z = R \times K \times LS \times C \times P \quad (2)$$

$$y = x - z \quad (3)$$

Eşitlik 1'de;

x: Senaryo 1'deki maksimum erozyon miktarını (t ha^{-1} $yıl^{-1}$) (Şekil 24),

R: RUSLE'nin yağmur erozivite ve yüzeysel akış faktörünü (MJ mm ha^{-1} s^{-1} $yıl^{-1}$),

K: RUSLE'nin toprak aşınım faktörünü (t ha s ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}),

LS: RUSLE'nin yamaç uzunluğu ve eğim faktörünü (birimsiz) ifade etmektedir.

Eşitlik 2'deki;

z: Senaryo 2'deki bitki örtüsü sayesinde azaltılmış erozyon miktarını (yıllık potansiyel toprak kaybı/RUSLE-A/t ha^{-1} $yıl^{-1}$) (Şekil 24),

C: RUSLE'nin bitki örtüsü ve ürün yönetimi faktörünü (birimsiz),

P: RUSLE'nin toprak koruma önlemleri faktörünü (birimsiz) ifade etmektedir.

Eşitlik 3'te ise;

y: Senaryo 2'deki erozyonu önleme fonksiyonunu (önlenen toprak kaybı–t ha^{-1} $yıl^{-1}$) ifade etmektedir (Şekil 24). RUSLE faktörlerinin hesaplanışı 2.3.6 ve alt bölümlerinde ayrıntılı olarak verildiği için burada tekrarlanmamıştır.

Ancak, burada vurgulanması gereken diğer bir konu; z'yi hesaplarken RUSLE'nin P-faktörünün kullanılıp kullanılmayacağıdır. 2.3.6.5 numaralı bölümde açıklandığı gibi P-faktörü; insanlar tarafından alınan toprak koruma önlemlerini (teras, eşik vd.) ifade

etmekte olup ekosistemlerin erozyonu önleme fonksiyonuyla ilgisi bulunmamaktadır. Bu nedenle, fonksiyonun sayısallaştırılmasında P=1 (etkisiz eleman) olarak alınmalıdır. Aksi takdirde insan kaynaklı koruma faaliyetlerinin erozyon üzerindeki azaltıcı etkisi, ekosistemin toprak koruma kapasitesiyle karıştırılır ki; bu durum sonuçların yanıltıcı olmasına yol açar. Böyle bir durumda bitki örtüsünün toprak korumadaki rolü abartılmış olacaktır.

2.3.2. Hazırlık Çalışmaları ve Örnekleme Tasarımı

Çalışmaya başlamadan önce farklı özelliklerdeki veri kaynakları toplanarak Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında depolanmış ve konumsal veri tabanı (geodatabase) kurulmuştur. Kurulan veri tabanı, çalışma alanlarına ait Orman Amenajman Planları, eski ve yeni meşcere haritaları, Amenajman Plan Programı (APP), 1/25000 ölçekli memleket paftaları, ortofotolar, uydu görüntüleri ve Sayısal Arazi Modelleri'nden oluşmaktadır. Ayrıca Şavşat ve Olur iklim istasyonlarından temin edilen güncel iklim verileri de MS Excel'de düzenlenerek analize hazır hale getirilmiştir.

Örnekleme tasarımında, amenajman heyetlerinin plan yenileme çalışmaları esnasında PB'lerine *sistematik* olarak (300×300 m aralık-mesafeli) dağıttıkları örnek alanların konumlarına bağlı kalınmıştır (OGM, 2017). Buna göre; Veliköy ve Olur PB'lerinde sırasıyla 714 ve 470 olmak üzere, toplamda 1184 örnek alan bulunmaktadır (OGM, 2013; 2015b). Bu alanlar, çalışmanın amacı ve işgücü kısıtı dikkate alınarak; meşcere tipi, eğim grubu ve anakaya *tabakaları* uyarınca elenmiştir. Bu eleme sonucunda Veliköy ve Olur PB'lerindeki amenajman örnek alanı sayısı sırasıyla 143 ve 107'ye düşmüştür. Toplamda 250 örnek alan ziyaret edilerek 2.3.3 numaralı bölümde yer verilen ölçüm ve gözlemler yapılmıştır.

Bu örnekleme deseninin sağladığı avantajlar şu şekilde sıralanabilir;

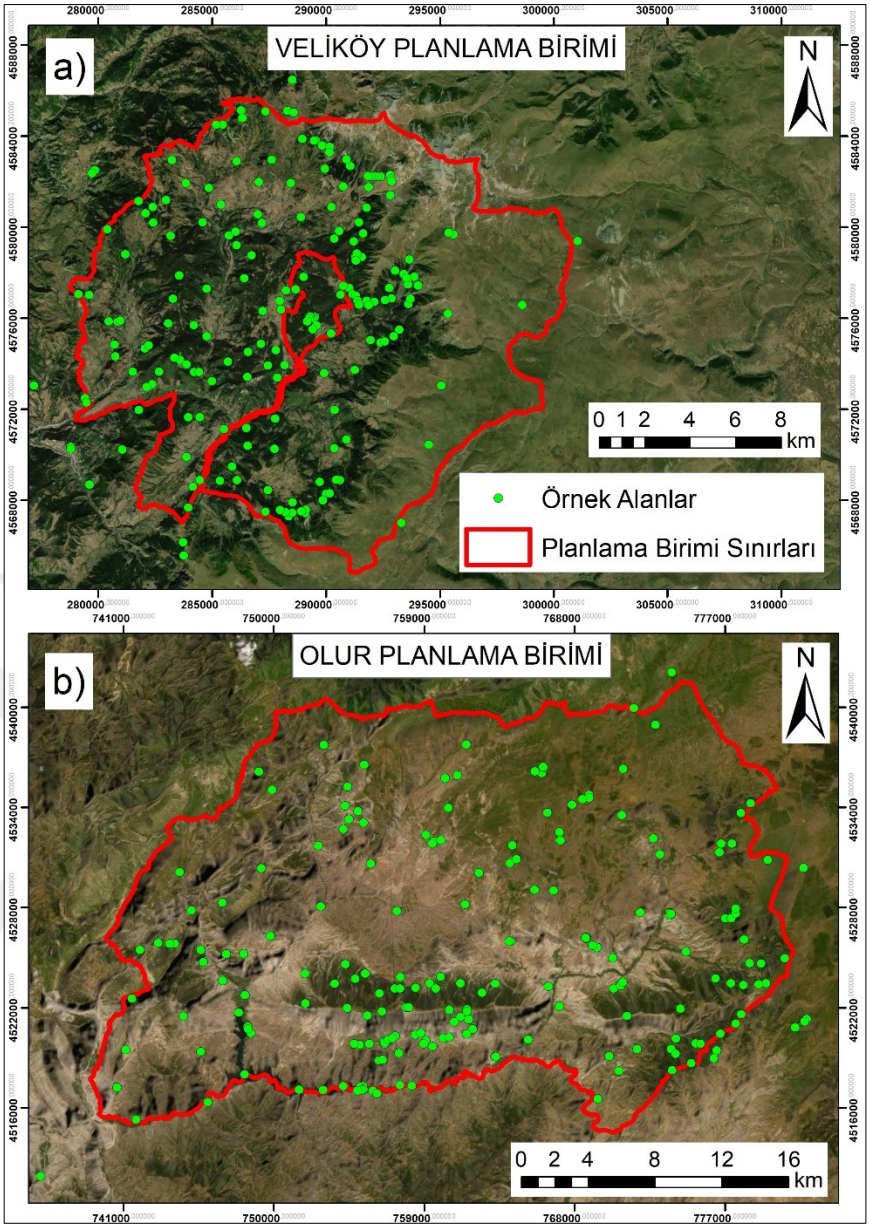
- Erozyon üzerinde en fazla etkili olduğu düşünülen faktörlerden eğim, toprak/anakaya ve bitki örtüsü dikkate alınarak örnekleme deseninin çalışma alanlarını temsil kabiliyeti güçlendirilmiştir.
- Türkiye'deki orman envanteri sistemine önemli ölçüde sadık kalınarak bu çalışmada izlenen metodolojinin amenajman planlama sürecine entegrasyonu ve uyumu kolaylaştırılmak istenmiştir.

- Orman dışında kalan arazi kullanımlarından da asgari düzeyde (n≥30) rastgele örnek alan alınarak parametrik testler için gerekli olan istatistik önkoşullar sağlanmıştır.
- Envanter yapılacak örnek alan sayısı azaltılarak işgücü, zaman ve masraftan tasarruf etmek amaçlanmıştır.

Böylelikle her meşcere tipine en az bir örnek alan düşmüştür. Ayrıca farklı anakaya tipleri ve eğim grupları üzerinde bulunan meşcerelerden birden çok örnek alınmıştır. Örnekleme tasarımı yapılırken değişken olarak büyük toprak grupları (BTG) yerine Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA)'nün anakaya (jeoloji/litoloji) haritasının kullanılmasının nedeni; BTG haritasının doğruluk düzeyinin düşük olması ve güncel olmamasıdır. Eğim haritası üç eğim grubuna göre sınıflandırılmıştır. Bunlar; %0−29 (düşük eğim grubu), %30−59 (orta eğim grubu), %60 ve üzeridir (yüksek eğim grubu). Örnek alanların planlama birimlerine konumsal dağılışı Şekil 25'te gösterilmiştir.

Örnekleme tasarımı tamamlandıktan sonra arazi planlama aşamasına geçilmiştir. Veliköy ve Olur PB'lerine düşen toplam 250 örnek alana ait örnekleme işinin en az üç kişilik bir ekiple günde ortalama 10 örnek alan alınarak yaklaşık 25 işgününde bitirilmesi planlanmıştır. Daha sonra arazi envanteri aşamasında ölçülmesi gereken değişkenler, alınması gereken örnekler ve yapılacak gözlemler ayrıntılı olarak çıkarılmış ve bunları içeren özel bir envanter karnesi hazırlanmıştır (Ek-2 arka yüz). Bu karne, amenajmanda kullanılan standart envanter karnelerinin arka yüzündeki boş kısma entegre edilmiştir. Karnede yer alan değişkenler; orman, toprak ve topografya olmak üzere üç ana grup altında sınıflandırılmıştır.

Son olarak arazi çantaları hazırlanmış ve gidilecek örnek alanların koordinatları el GPS'ine yüklenerek 2018'in Haziran ayında araziye çıkılmıştır.



Şekil 25. Örnek alanların çalışma sahalarına dağılımı: Veliköy PB (a), Olur PB (b)

2.3.3. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları 26 Haziran 2018'de başlayıp 2 Ekim'de sona ermiştir. Yaklaşık 3 aylık süre zarfında 3−4 kişilik ekiple (bazen 2 ekip) her hafta 1−3 gece konaklamalı olarak araziye çıkılmıştır (Şekil 26). Ayrıca bazı günlerde Artvin'den çalışma alanlarına günübirlik seferler de düzenlenmiştir. Toplamda 29 iş günü süren arazi çalışmaları boyunca Veliköy ve Olur PB'lerindeki toplam 250 örnek alan el GPS'i yardımıyla ziyaret edilmiştir. Söz konusu örnek alanlarda aşağıda anlatılan ölçümler yapılmış ve her birinden üst toprak örnekleri (0−15 cm) alınmıştır (Şekil 26b). Toprak

örneklerinin 61 adeti, ÇNHRP Erozyon İzleme ve Değerlendirme (S3) ayağı için 2018 yılında gerçekleştirilen güncelleme çalışmaları kapsamında toplanmıştır (ÇNHRP, 2013). Söz konusu veriler yalnızca K-faktör haritalamasında kullanılmıştır. Diğer taraftan, meşcere haritalarının güncellenmesi ve C-faktörü ölçümü gibi nedenlerle farklı örnek alanlara da gidilerek gözlemler yapılmıştır. Örneğin; Olur PB'nde böcek kaynaklı kuruma yaşanan meşcereler ve Veliköy PB'nde yol genişletme çalışması yüzünden kısmen tıraşlanmış bölmecikler GPS ile kayıt altına alınarak büroda haritalara işlenmiştir.



Şekil 26. Arazi çalışmalarından görünümler; meşcere parametrelerinin ölçümü (a), üst toprak örneklerinin alınması (b), ağaç boyu ölçümü (c), yüzey pürüzlülük ölçümü (d)

Örnek alanlar, 299 sayılı tebliğde (OGM, 2017) belirtildiği gibi tepe tacı kapalılığına göre 400−600−800 m^2 büyüklüğünde ve daire şeklinde alınmıştır. Pratiklik sağlanması

açısından dijital teknolojiden olabildiğince faydalanılmış ve amenajman tebliğinden farklı olarak örnek alan merkezine kazık yerine ucunda transponder bulunan bir çubuk saplanmıştır (Şekil 26a). Böylece sınır ağaçlarını belirlemek için ip çekmeye gerek kalmamış ve boyna takılan Vertex IV'ün mesafe ölçeri kullanılarak şüpheli sınır ağaçlarının merkeze olan uzaklıkları cm hassasiyetinde ölçülmüştür.

Örnek alanlarda yapılan işlemler üç temel aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar esnasında ölçülen değişkenler aşağıdaki gibidir;

- *Klasik amenajman envanteri aşaması* (Şekil 26a-c): Göğüs yüksekliğindeki çapı ($d_{1,30}$) 8 cm ve üzeri olan tüm ağaçların tür ve çapları (cm) (bozuk ormanda $d_{1,30} \geq 5$ cm), hakim ağacın ve meşcere orta ağacının boyu (m), kapalılık (%), her ağaç türünde yaş ve son 10 yıllık halka kalınlığı (cm), gövde kalitesi, orijin, gençlik durumu, böcek zararı, tabakalılık, teknik müdahale şekli, orman formu, silvikültürel durum ve beklenen orman fonksiyonu.
- *İlave ölçüm ve gözlemler aşaması* (Şekil 26d): Ölü örtü kalınlığı (cm), diri örtü yüksekliği (cm), diri örtü örtme derecesi (%), göğüs yüzeyi (m^2 ha^{-1}), yüzey taşlılığı (%), yüzey pürüzlülüğü (birimsiz), devrik ve ölü ağaç sayısı (ad), dip kütük sayısı (ad) ve çapı (cm), yaslı ağaç sayısı (ad), yamaç eğimi (%) ve uzunluğu (m), bakı, gözlenen erozyon tipi (varsa), liken/yosun/mantar gibi unsurların varlığı (varsa), gözlenen yaban hayatı türleri (varsa).
- *Toprak örnekleme aşaması* (Şekil 26b): Ölü örtü ve humus tabakası sıyrılarak 0−15 cm derinlik kademesinden bozulmuş toprak örnekleri alınmış, numaralandırılmış ve naylon poşetlere konmuştur. Bu aşamada ayrıca toprak nemliliği de pek kuru'dan yaş/cıvık'a kadar 5 sınıf halinde kaydedilmiştir.

İlave ölçümlerden yüzey pürüzlülük katsayısı 1 m uzunluğunda ve 5 mm kalınlığındaki zincir ve mezura yardımıyla ölçülmüştür. Ölçülen değer Eşitlik 4'te yerine konularak yüzey pürüzlülük indisi hesaplanmıştır (Saleh, 1993'e atfen Thomsen ve ark., 2015);

$$C_r = (1 - (L_2 / L_1)) \times 100 \quad (4)$$

Eşitlik 4'te;

C_r: Yüzey pürüzlülük indisi (birimsiz),

L_2: Zemine serili zincirin uzunluğu (öklidyen mesafe),

L_1 ise: Zeminde mezurayla ölçülen yatay mesafeyi (bu çalışmada sabit 1 m) ifade etmektedir. Örneğin; pürüzlü yüzeye serili zincirin kuş uçuşu uzunluğu 0,9 m olarak ölçülür ise Eşitlik 4'e göre pürüzlülük indisi 10 olarak hesaplanmaktadır. Yine daha pürüzlü bir yüzeyde 0,8 m olarak ölçülen zincir uzunluğu ise pürüzlülük indisini iki kat arttırarak 20 yapmaktadır.

Orman arazi kullanım sınıfındaki örnek alanlar daha önce amenajman heyetleri tarafından ölçüm yapılmış noktalar olduğundan, bunların yaklaşık yarısında daha önceden ağaçlara yapıştırılmış numara etiketi ya da açılmış aynalara rastlanmıştır (Şekil 27). Bu noktalarda merkez ağacının seçimine ekstra özen gösterilerek yeni ve eski ölçümlerin tek ağaç düzeyinde karşılaştırılması imkanı da sağlanmıştır.



Şekil 27. Amenajman heyetleri tarafından daha önce ölçülmüş bir örnek alanda bırakılmış numara etiketi

2.3.4. Arazi Sonrası Büro Çalışmaları

Her arazi dönüşünde örnek noktalara ait GPS ile alınan koordinatlar ArcGIS yazılımına aktarılarak kontrol ve düzenlemeleri günlük olarak yapılmıştır. Bu noktalara ait envanter karnesine işlenen ölçüm değerleri ise yine ArcGIS'teki öznitelik tablosu ve Excel formlarına işlenmiştir. Bunların haricinde büroda yapılan diğer işlemler ve haritalama çalışmaları aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

2.3.4.1. Meşcere Haritalarının Güncellenmesi

Veliköy ve Olur PB'lerindeki mevcut meşcere haritaları amenajman planlarının yenilendiği 2013 ve 2015 yıllarına ait olup güncellenmeleri gerekmektedir. Bu amaçla GPS cihazı araç içerisinde bulunan laptopa bağlanarak ArcGIS ile entegre hale getirilmiştir. Arazide istikşaf sırasında ArcGIS'te açılan sayısal meşcere haritaları sahadaki aktüel durum ve gözlemlere dayalı olarak anlık güncellenmiştir.

Diğer taraftan ilgili işletme şeflerinden Orman Amenajman Planlarının Uygulanması Hakkında Yıllık Raporlar, Olağanüstü Hasılat Cetvelleri, Plan Değişiklik Raporları ve Yıllık Kesim Planları temin edilmiştir. Bunlar Veliköy PB için 2013−2019 periyodunu, Olur için 2015−2019 periyodunu kapsamaktadır. Söz konusu tablo ve cetveller foto yorumlama ve karne verileriyle eşgüdümlü olarak değerlendirilmiştir. Böylelikle çalışma alanlarında son yıllarda gerçekleşen önemli değişimler tespit edilerek, amenajman planı sayısal veritabanındaki BOLMECIK katmanı güncellenmiştir. Yapılan önemli güncelleştirmeler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- Veliköy PB'nde yol genişletme çalışmaları yüzünden kısmen tıraşlanmış bölmeciklerin sınırlarının güncellenmesi (Şekil 28),
- Veliköy PB'nde 2016 yılında meydana gelen fırtına devrikleri nedeniyle alınan olağanüstü hasılat etaları uyarınca bazı meşcere tiplerinde güncelleme,
- Veliköy PB'nde seçme kesimleri nedeniyle uygulama sonuçlarına dayalı olarak yapılan güncellemeler,
- Olur PB'nde ökseotu zararı nedeniyle kuruyan ağaçların bulunduğu meşcere sınırlarının güncellenmesi,

- Olur PB'nde ökseotu zararı nedeniyle kısmen kurumaya başlayan ağaçların yer aldığı meşcere tiplerinde olağanüstü hasılat etası uygulama sonuçlarına göre kapalılık sınıflarının düşürülmesi,
- Olur PB'nde 2016 yılında silvikültürel ihtiyaç nedeniyle yapılan bakım çalışmaları uyarınca yapılan güncellemeler,
- Olur PB'nde tamamlanmış ve devam eden gençleştirme alanlarında meşcere rumuzlarının yenilenmesi.

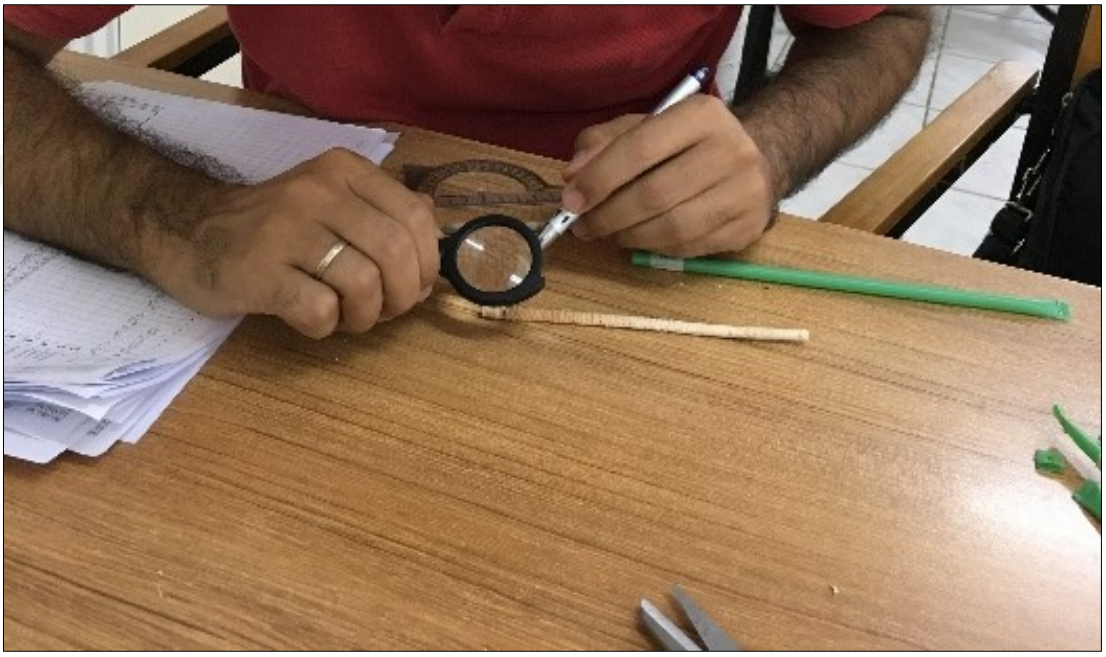


Şekil 28. Meşcere haritasında bazı bölmecik sınırlarının ve rumuzların güncellenmesi

2.3.4.2. Meşcere Parametrelerinin Hesaplanması

Artım burgusu ile örnek alanlardaki her ağaç türünden 2 adet alınan artım kalemleri pipet içerisinde büroya getirilmiştir. Daha sonra artım kalemlerinde lup ile yıllık halkalar sayılmış ve son 10 yıllık halka kalınlıkları cetvelle 1 mm hassaslıkta ölçülmüştür (Şekil 29). Böylelikle ağaç yaşı ve ortalama yıllık çap artımı hesaplanmıştır. Bilindiği gibi, ağaç yaşı hesaplanırken yıllık halka sayısına, ağaç ölçü yüksekliğine ulaşana kadar geçmesi gereken süre de (fidan yaşı) eklenmelidir (Asan, 2017). Bu çalışmada fidan yaşını hesaplamak için ilgili türe ait yaklaşık 1,30 m yüksekliğe ulaşmış ibreli fidanlar sahada incelenmiş ve bölgedeki planlama çalışmalarını kontrol eden Amenajman Rehberlik ve Denetim Başmühendislerinin verdiği bilgilerden de yararlanılmıştır. Buna göre Veliköy PB'nde fidan yaşı; Sarıçam

ve Meşe'de 6, Ladin'de 8 ve Göknar'da 10 yıl olarak belirlenmiş ve kalemde sayılan yıllık halka sayısına eklenmiştir. Olur PB'nde ise Sarıçam'da sayılan yıllık halkalara 8 yaş eklenmiştir. Esasen fidanların 1,30 m yüksekliğe ulaşabilmesi için gereken süre bonitet, sıklık ve ağaçların meşcere içindeki konumuna bağlı olarak değişebilmektedir (Şahin, 2015). Dolayısıyla yukarıda verilen yaşlar kesin yıl sayısı gibi değerlendirilmemeli ve örnek alanların alındığı yetişme ortamlarındaki ortalamalar olarak düşünülmelidirler.



Şekil 29. Artım kalemleri üzerinde yaş ve son 10 yıllık halka tespiti

Son 10 yıllık halka kalınlığından yıllık cari çap artımının hesaplanmasında Eşitlik 5 kullanılmıştır (Asan, 2017).

$$i_d = (OYHK \times 2) / 10 \quad (5)$$

Eşitlik 5'te;

i_d: Ağacın 1 yıllık cari çap artımı (cm),

OYHK: Artım kalemindeki son 10 yıllık halkanın toplam kalınlığıdır (cm).

Ayrıca Excel formlarına girilen envanter karne verilerinden, örnek alanların hektardaki ağaç sayısı, göğüs yüzeyi ve dikili servetleri de hesaplanmıştır. Hektardaki ağaç sayısının hesaplanışında Eşitlik 6 kullanılmıştır. Eşitlik 7'ye göre her bir ağacın göğüs yüksekliğindeki çapından hesaplanan göğüs yüzeyi değeri ise, örnek alanın aynalı relaskopla ölçülen göğüs yüzeyi değeriyle ayrıca karşılaştırılmıştır. Son olarak dikili servet hesaplanırken her iki amenajman planında ağaç türleri için ayrı ayrı hazırlanmış olan yöresel tek girişli "Dikili Kabuklu Ağaç Hacim Tabloları" (OGM, 2013; OGM, 2015b) ve Eşitlik 8 kullanılmıştır. Hektara çevirme katsayılarının hesaplanışı ise Eşitlik 9'daki gibidir.

$$AS = ÖAS \times HÇK \tag{6}$$

$$G = (\pi / 4) \times \sum d_{1,30}^2 \times HÇK \tag{7}$$

$$DGH = \sum V \times HÇK \tag{8}$$

$$HÇK = 10000 / ÖAB \tag{9}$$

Eşitlik 6'da;

AS, ÖAS ve HÇK sırasıyla: Hektardaki ağaç sayısı (ad ha^{-1}), örnek alandaki ağaç sayısı (ad) ve hektara çevirme katsayısını ifade etmektedir.

Eşitlik 7'de;

G ve $d_{1,30}$ sırasıyla: Meşcerenin göğüs yüzeyi (m^2 ha^{-1}) ve göğüs yüksekliğindeki çapı (cm) ifade eder.

Eşitlik 8'de;

DGH ve V ifadeleri ise: Hektardaki dikili kabuklu gövde hacmi (m^3 ha^{-1}) ve örnek alandaki her ağaç için tek girişli ağaç hacim tablosundan elde edilen kabuklu gövde hacmidir (m^3).

Son olarak Eşitlik 9'daki;

HÇK ve ÖAB sırasıyla: Hektara çevirme katsayısı (birimsiz) ve örnek alanın büyüklüğüdür (m^2). Türkiye'deki orman amenajmanı pratiğinde HÇK; kapalılığa göre 400 m^2, 600 m^2 ve 800 m^2 büyüklüğünde ve daire şeklinde alınan örnek alanlar için sırasıyla 25, 16,66 ve 12,5 olarak hesaplanmaktadır.

2.3.4.3. NDVI Haritasının Üretilmesi

RUSLE'nin C-faktörü haritasının yüksek çözünürlük ve kalitede üretilebilmesi için popüler vejetasyon indislerinden "Normalleştirilmiş Fark Vejetasyon İndisi (NDVI)" kullanılmıştır. Bu indis uydu görüntülerindeki klorofil dokusuna hassas ve hassas olmayan bantların yansıma değerleri arasındaki farktan yararlanarak canlı (yeşil) biyokütleyle kaplı alanları diğer alanlardan ayırmakta kullanılmaktadır. NDVI; −1 (su kütlesi) ile +1 (yoğun ve sağlıklı vejetasyon) arasında değerler almakta, 0'a yakın değerler genellikle çıplak toprağı işaret etmektedir. Söz konusu değerler Eşitlik 10 ile hesaplanmaktadır (Tucker, 1979);

$$NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red} \quad (10)$$

Eşitlik 10'da;

NDVI: Normalleştirilmiş Fark Vejetasyon İndisini (birimsiz),

NIR: Uydu verisindeki yakın kızılötesi (near−infrared) bandın yansıma değerini,

Red ise; Uydu verisindeki kırmızı bandın yansıma değerini ifade etmektedir.

Uzaktan algılama görüntüleri üzerinden NDVI haritası üretebilmek için görünür (RGB) bantlar yanısıra yakın kızılötesi (NIR) banda da ihtiyaç duyulmaktadır. Söz konusu dört banda ait katmanlar ArcGIS'te açılarak *Raster Calculator* aracı yardımıyla Eşitlik 10 girilmiş ve hem Veliköy hem de Olur PB'leri için NDVI haritaları piksel ölçeğinde üretilmiştir. NDVI'daki varyasyonun azaltılması için her iki harita da PB sınırlarından kesilerek etrafındaki piksellerden yalıtılmıştır.

2.3.4.4. Örnek Alanlarda Ortalama NDVI Değerinin Hesaplanması

Türkiye'deki orman planlama sisteminde örnek alanlar kapalılığa bağlı olarak 400 m^2, 600 m^2 ya da 800 m^2 büyüklüğünde ve daire şeklinde alınmaktadır. Bu alanlar CBS ortamındaki amenajman veritabanında noktasal veri tipi olarak saklanmaktadırlar (OGM, 2017). 400 m^2 büyüklüğündeki bir örnek alan 0,45 m yersel çözünürlüğe sahip bir UA görüntüsünde 1975 adet piksel ile temsil edilir. Ancak sayısal görüntülerdeki piksellerin şekli kare olduğundan dairesel örnek alanlar ile tam üst üste örtüşmeleri teorik olarak mümkün değildir. Dolayısıyla CBS ortamında yapılacak konumsal analizler için daire şekilli örnek alanların büyüklüklerinin korunarak kareye dönüştürülmeleri gerekmektedir (Vatandaşlar ve Yavuz, 2017).

Bu işlem için öncelikle amenajman veritabanındaki örnek noktalara büyüklüklerine göre (400, 600 ve 800 m^2) sırasıyla 10, 12,25 ve 14,14 m uzunluklarında buffer atılmıştır. Böylelikle örnek noktalar merkez olacak şekilde 10, 12,25 ve 14,14 m yarıçaplı daireler (tampon bölge) oluşturulmuştur. Daha sonra bu daireler ArcGIS'teki *Feature Envelop to Polygon* fonksiyonu ile kareye dönüştürülmüştür. Dolayısıyla 10 m yarıçaplı daireden oluşturulan karenin kenarı 20 m, diğerlerininki de sırasıyla; 24,50 ve 28,28 m olmaktadır. Sonuç olarak 20, 24,50 ve 28,28 m kenar uzunluklarına sahip karelerin alanları sırasıyla 400, 600 ve 800 m^2 etmektedir ki, bu büyüklükler amenajman envanteri için arazide alınan daire örnek alanlara eşittir.

Son aşamada, kareye dönüştürülen bu örnek alanlar NDVI haritası üzerinde açılmış ve söz konusu alanların içerisine giren tüm piksellerin ortalama NDVI değeri ArcGIS'teki *Zonal Statistics* fonksiyonuyla hesaplattırılmıştır. Bulunan ortalama değerin o örnek alanın ort. NDVI değeri olduğu varsayılmıştır. Böylece örnek alanlarda ölçülen ağaç sayısı, C-faktörü ya da göğüs yüzeyi gibi değişkenleri aynı alanın NDVI değeri ile ilişkilendirmek ve bu ilişkilere dayanarak modelleme yapmak mümkündür.

2.3.5. Laboratuvar Çalışmaları

Örnek alanlardan toplanarak laboratuvara getirilen 0−15 cm derinlik kademesinden alınmış bozulmuş üst toprak örnekleri hava kurusu hale getirilmek üzere gazete kağıtlarına serilerek oda sıcaklığında 15 gün bekletilmiştir (Şekil 30a). Daha sonra 2

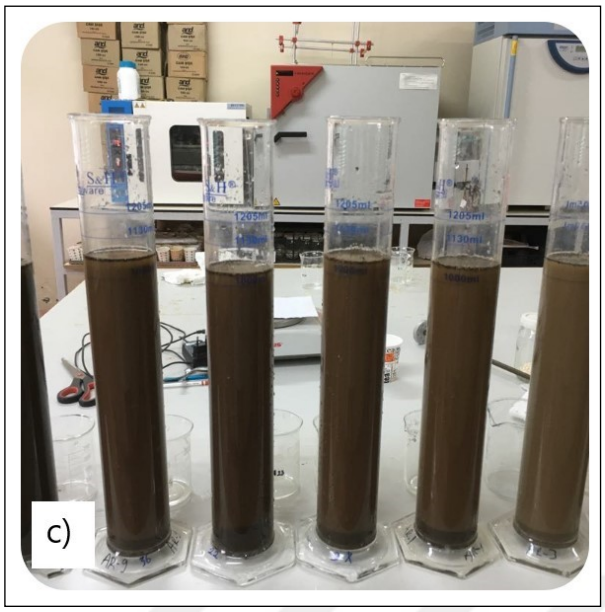
mm'lik elekten geçirilerek taş ve diğer yabancı maddelerinden arındırılan örnekler tekstür ve organik madde analizleri için hazır hale getirilmiştir (Şekil 30b).



Şekil 30. Toprak örneklerinin hava kurusu hale getirilmesi (a) ve elenmesi (b)

2.3.5.1. Tekstür Analizi

Toprak örneklerinin tekstür analizi için Bouyoucos (1962)'un hidrometre yöntemi uygulanmıştır (Şekil 31). Elde edilen değerler Amerikan toprak sınıflandırma sistemine (USDA, 1987) göre değerlendirilmiştir. Buna göre yüzde (%) cinsinden elde edilen kum, kil, toz oranları Amerikan tekstür üçgeninde yerlerine konmuştur. Böylelikle toprak örneklerinin tekstür sınıfları USDA sisteminde sunulmuştur. USDA sisteminin tercih edilmesinde; (i) kullanılacak erozyon tahmin modelinin (RUSLE) Amerika menşeili olması, (ii) uluslararası literatürde USDA sistemine daha çok rastlanması ve (iii) USDA sistemine göre elde edilen sonuçların meşcere parametreleriyle daha kuvvetli ilişkiler göstermesi etkili olmuştur.



Şekil 31. Hidrometre yöntemi için kullanılan silindirler

2.3.5.2. Topraktaki Organik Madde İçeriğinin Belirlenmesi

Organik madde (OM) içeriği toprağın kimyasal ve fiziksel özellikleri üzerinde oldukça etkilidir. Bu nedenle, toprak kalitesi değerlendirmelerinde sıklıkla kullanılırlar. Topraktaki OM düzeyi, toprak stabilitesi ve erozyona karşı direnç anlamında da önemli bir göstergedir. Genel kural olarak; OM içeriği arttıkça toprak kaybı ve dispersleşme azalır (Tejada ve Gonzalez, 2006; Yilmaz ve ark., 2015). Bu çalışmada toprak örneklerinin OM içeriklerinin tayin edilmesi için Walkley−Black yaş yakma yöntemi uygulanmıştır (Şekil 32). Bu yöntemin uygulanışında Schumacher (2002)'de yer alan ayrıntılı prosedür takip edilmiştir. Prosedür sonrasında elde edilen titrasyon değerleri KTÜ Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı tarafından daha önce hazırlanmış olan Excel tabanlı bilgisayar programına girilerek topraktaki OM içerikleri % cinsinden bulunmuştur.



Şekil 32. Organik madde tayininde titrasyon aşamasından bir görünüm

2.3.6. RUSLE ile Sahadaki Potansiyel Erozyonun Tahmini

Sahadaki potansiyel erozyon; şu anki *mevcut durum*ları itibariyle çalışma alanlarında su kaynaklı (yağış, yüzeysel akış vb.) yüzey erozyonunun neden olduğu toprak kayıplarını ifade etmektedir. Bu toprak kaybının miktarı, arazi üzerindeki bitki örtüsünün toprak koruma kapasitesi ve şayet var ise toprak koruma önlemleriyle (teras, eşik vd.) şekillenir. Sahadaki potansiyel erozyonunun tahmininde Yenilenmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (RUSLE) modeli (Renard ve ark., 1997) kullanılmıştır. Pan ve Wen (2014) tarafından dünyada en yaygın kullanıma sahip erozyon tahmin modeli olduğu belirtilen RUSLE'nin formülasyonu Eşitlik 11'de gösterilmiştir (Renard ve ark., 1997);

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (11)$$

Eşitlik 11'de;

A: Yıllık ortalama potansiyel toprak kaybı miktarını (t ha^{-1} $yıl^{-1}$),

R: Yağmur erozivite ve yüzeysel akış faktörünü (MJ mm ha^{-1} s^{-1} $yıl^{-1}$),

K: Toprak aşınım (erodibilite) faktörünü (t ha s ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}),

LS: Yamaç uzunluğu ve eğim faktörlerini (birimsiz),

C: Bitki örtüsü ve ürün yönetimi faktörünü (birimsiz),

P ise: Toprak koruma önlemleri faktörünü (birimsiz) ifade etmektedir.

Bu faktörlerin her biri aşağıda ayrıntılı şekilde anlatıldığı gibi hesaplanmış ve her iki çalışma alanı için CBS ortamında ayrı ayrı haritalanmıştır. Haritalar PB, bölme, bölmecik ve piksel ölçeğinde analiz edilebileceği gibi minimum, ortalama, maksimum ve toplam değerler gibi tanımlayıcı istatistikler bakımından da analiz edilebilmektedir.

2.3.6.1. Yağmur Erozivite ve Yüzeysel Akış (R) Faktörünün Hesaplanması

RUSLE modeli için gerekli olan yağmur erozivite ve yüzeysel akış (R) faktörü haritası ArcGIS 10.2 yazılımında üretilmiştir. Bunun için iklim verileri ve çalışma alanlarının 5 m çözünürlüklü SYM'leri kullanılmıştır. Normal şartlar altında R-faktörü, yağmurun yoğunluk ve şiddet ölçümünden elde edilen verilerle hesaplanmalıdır. Ancak Türkiye'de bu verilere ulaşım güç olduğundan aylık ve yıllık toplam yağış miktarları kullanılmıştır. Söz konusu iklim verileriyle Şavşat ve Olur Meteoroloji İstasyonları'na ait R-faktör değerleri Eşitlik 12 ile hesaplanmış, Ek-3 ve Ek-4'te sunulmuştur (Arnoldus, 1977; Wischmeier ve Smith, 1978). Bu eşitliğin tercih edilmesinin nedeni; hem Türkiye şartlarına uygun oluşu hem de literatürde sıklıkla tercih edilmesidir (Erdoğan, 2012; Çilek ve ark., 2014). Ancak Eşitlik 12 ile bulunan R-faktör değeri yalnızca meteoroloji istasyonlarının bulunduğu konumu temsil etmektedir. Dolayısıyla bu değerin tüm çalışma alanına yayılması (enterpolasyon ya da ekstrapolasyon) gerekmektedir. Bu işlem için Renard ve Foster (1998)'in önerdiği Eşitlik 13 kullanılmıştır. Eşitlik 13'te yer alan P_{yeni} değerinin hesaplanmasında ekolojide yağış ve yükselti arasındaki genel kabul gören ilişkiden yani yükseltideki her 100 m'lik değişim için yağıştaki 54 mm'lik değişimden (Erinç, 1996; Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016) yararlanılmıştır (Eşitlik 14).

$$R = \sum_{k=1}^{12} 1{,}735 \text{ x } 10^{(1{,}5\ log10(Pi^2/P) - 0{,}08188)} \quad (12)$$

$$R_{yeni} = R_{istasyon}\ (P_{yeni} / P_{istasyon})^{1{,}75} \quad (13)$$

$$P_{yeni} = P_{istasyon} \pm 54h \quad (14)$$

Eşitlik 12'de;

R: Yağmur erozivite ve yüzeysel akış (R-faktörü) değerini (MJ mm ha^{-1} s^{-1} $yıl^{-1}$),

P_i: i. aydaki yağış miktarlarının ortalamasını (mm),

P: Ortalama yıllık yağış miktarını (mm) ifade etmektedir.

Eşitlik 13'te;

R_{yeni}: Meteoroloji istasyonundan farklı yükseltideki bir konum (piksel) için hesaplanmış yeni R-faktör değerini (MJ mm ha^{-1} s^{-1} $yıl^{-1}$),

$R_{istasyon}$: Meteoroloji istasyonunun bulunduğu konum (piksel) için hesaplanmış R-faktör değerini (MJ mm ha^{-1} s^{-1} $yıl^{-1}$) (Eşitlik 12 ile hesaplanır),

P_{yeni}: Meteoroloji istasyonundan farklı yükseltideki bir konum için hesaplanmış ortalama yıllık yağış miktarını (mm) (Eşitlik 14 ile hesaplanır),

$P_{istasyon}$: Meteoroloji istasyonunun ortalama yıllık yağış miktarını (mm) ifade eder.

Eşitlik 14'te ise;

h: Meteoroloji istasyonu ile yağış miktarı bulunmak istenen konumun (piksel) yükselti farkını (hm) ifade eder.

2.3.6.2. Toprak Aşınım (K) Faktörünün Hesaplanması

Toprağın suyun etkisiyle aşınma derecesini ölçen RUSLE parametrelerinden toprak aşınımı (K-faktörü) değerleri, toprak örneklerinin kum, kil, toz oranları ve organik madde içerikleri yardımıyla Eşitlik 15 ve Eşitlik 16'ya göre hesaplanmıştır (Torri ve ark., 1997; Torri ve ark., 2002);

$$K = 0{,}0293\left(0{,}65 - D_G + 0{,}24{D_G}^2\right)exp\left[-0{,}0021\left(\frac{OM}{f_{kil}}\right) - 0{,}00037\left(\frac{OM}{f_{kil}}\right)^2 - 4{,}02f_{kil} + 1{,}72{f_{kil}}^2\right] \quad (15)$$

$$D_G = \sum f_i \log_{10}(\sqrt{d_i d_{i-1}}) \quad (16)$$

Eşitlik 15'te;

K: Her bir toprak örneğinin aşınım (K-faktör) değerini (t ha s ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}),

OM: Her bir toprak örneğinin organik madde içeriğini (%),

f_{kil}: Her bir toprak örneğindeki kil oranını (%),

D_G: Toprak içindeki parçacık (kum, kil ya da toz) büyüklüklerinin geometrik ortalamasının logaritmasını ifade etmektedir ve Eşitlik 16 ile hesaplanmaktadır.

Eşitlik 16'da;

f_i: İlgili parçacık sınıfının (kum, kil ya da toz) oranını (%),

d_i: i. sınıfın ayrımında kullanılan maksimum çap sınırını (mm),

d_{i-1}: i. sınıfın ayrımında kullanılan minimum çap sınırını (mm) ifade eder. Bu çalışmadaki tekstür analizi Amerikan toprak sınıflandırma sistemine (USDA) göre yapıldığından parçacıkların minimum ve maksimum çap sınırı olarak USDA değerleri kullanılmıştır (kil<0,002 mm; toz: 0,002−0,05 mm; kum: 0,05−2 mm).

Haritalama aşamasında ise K-faktörü değerleri Wischmeier ve Smith (1978) ve Gülşen (2014)'te belirtilen limitler temel alınarak beş ayrı sınıf altında gösterilmiştir. Bunlar; çok az aşınabilir topraklar, az aşınabilir topraklar, orta derecede aşınabilir topraklar, fazla aşınabilir topraklar ve çok fazla aşınabilir topraklardır.

2.3.6.3. Yamaç Uzunluğu ve Eğim (LS) Faktörünün Hesaplanması

LS faktörünün hesaplanmasında altlık olarak 5 m çözünürlüklü SYM kullanılmıştır. Öncelikle SYM'ndeki boşluk ve diğer hatalar ArcGIS Hydrology Tool'undaki *Fill* fonksiyonuyla doldurulmuştur. Daha sonra bu yolla düzeltilmiş SYM'nin *Flow Direction* fonksiyonunda girdi olarak kullanılmasıyla havzadaki su akış yönleri

belirlenmiştir. Devamında *Flow Accumulation* fonksiyonu yardımıyla havzadaki su akışlarının biriktiği yüzey haritası oluşturulmuştur. Bununla eş zamanlı olarak çalışma alanlarının eğim haritaları da üretilmiştir. Son olarak üretilen tüm bu yüzeyler Eşitlik 17'de yerine konularak ArcGIS *Raster Calculator*'e girilmiş ve böylelikle LS-faktörü haritası piksel ölçeğinde üretilmiştir (Moore ve Burch, 1986; ÇEM, 2018). Kinnell (2001)'in teorileştirip Yılmaz (2006) ve Schmidt ve ark. (2019)'nın da belirttiği gibi Eşitlik 17'deki L faktörü CBS ortamındaki akış birikimi kavramına karşılık gelmekte ve eşitliğin ilk parantezindeki şekliyle yerini almaktadır.

$$LS = [(\text{Akış birikimi} \times \text{Hücre boyutu}) / 22{,}13]^{0{,}4} \times [\text{Sin}(\text{Eğim}) / 0{,}0896]^{1{,}3} \quad (17)$$

Eşitlik 17'de;

LS: Yamaç uzunluğu ve eğim faktörünü (birimsiz),

Akış birikimi: CBS'deki su grid hücrelerinin (piksel) alansal miktarını,

Hücre boyutu: SYM'ndeki piksel boyutunu (5 m),

Sin(Eğim) ise: Derece cinsindeki eğim değerinin sinüsünü ifade etmektedir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken nokta; arazi eğiminin derece cinsinden hesaplandıktan sonra 0,01745 ile çarpılarak radyansa çevrilmesidir. Aksi takdirde LS-faktör haritası üzerinde boşluklu (no data) bölgeler oluşmaktadır.

2.3.6.4. Bitki Örtüsü ve Ürün Yönetimi (C) Faktörünün Hesaplanması

C-faktörünün hesaplanması onu oluşturan beş alt faktöre ait değişkenlerin arazide ölçümüyle gerçekleştirilmiştir. Söz konusu alt faktörlerin her biri değişkenlerinin aldığı değerlere göre 0 ile 1 arasında değişmekte olup bunlara dayalı olarak hesaplanan C-faktörü formülizasyonu Eşitlik 18'de gösterilmiştir (Renard ve ark., 1997);

$$C - faktörü = PLU \times CC \times SC \times SR \times SM \quad (18)$$

Eşitlik 18'de;

C-faktörü: Bitki örtüsü ve ürün yönetimi faktörünü (birimsiz),

PLU: Önceki arazi kullanımını,

CC: Tepe tacı örtme derecesini (kapalılık),

SC: Yüzey örtüsünü (ölü örtü),

SR: Yüzey pürüzlülüğünü,

SM ise: Toprak nemini ifade etmektedir.

Bu alt faktörler yardımıyla C-faktörü hesaplanırken aylara göre ağırlıklandırma yapılmamış, yıllık ortalama değerler kullanılmıştır. Bunun nedeni; Renard ve ark. (1997)'nın da belirttiği gibi mera, çayır, ibreli orman gibi arazi kullanımlarının C-faktörü değerlerinde yıl içi önemli değişimlerin yaşanmamasıdır. Nitekim hem Veliköy hem de Olur PB'lerindeki orman varlığının alansal olarak %90'ından fazlasını oluşturan iğne yapraklı meşcereler yazın yapraklarını dökmemekte ve yıl boyu toprak koruma sağlamaktadırlar. Diğer bir neden ise; tarım alanlarında aylar itibariyle ekilen ürün bilgisine ulaşılamamasıdır. C-faktörüne ait alt faktörlerin tanıtımı ve hesaplanışı aşağıda verilmiştir.

PLU alt faktörü C-faktörünü iki türlü şekillendirir; (i) arazide önceden ekilmiş tarım ürünlerinden kalan artıkların toprak altına karışarak erozyonu etkilemesi ve (ii) önceden yapılmış toprak işleme faaliyetlerinin toprak sıkışmasına olan etkileri (Renard ve ark., 1997). Bu çalışmada PLU değeri olarak Suriyaprasit ve Shrestha (2008) ve Vatandaşlar ve Yavuz (2017)'un önerdiği katsayılar kullanılmıştır. Bunlar; orman için 0,5 diğer arazi kullanımları için ise 1'dir.

CC alt faktörü; tepe tacının yağmur damlalarını karşılayarak toprak yüzeyine direkt çarpma şiddetini düşüren etki olarak tanımlanmaktadır. Bu etkiye intersepsiyon ve gövdeden akış da dahildir. Ancak tepe tacı dendiğinde yalnızca orman akla gelmemeli, mısır tarlası, boylu çayır vd. bitki örtülerine sahip arazi kullanımları da bu kapsamda değerlendirilmelidir (Renard ve ark., 1997). Tepe tacının kapalılığı arttıkça erozyon şiddeti azalmaktadır. CC alt faktörünün hesaplanışında Eşitlik 19 kullanılmıştır (Renard ve ark., 1997).

$$CC = 1 - Fc \times exp[-0{,}1 \times H] \quad (19)$$

Eşitlik 19'da;

CC: Tepe tacı alt faktörünü,

F_c: Bitki örtüsüyle kaplı yüzey oranını,

H ise: Bitki örtüsünün boyunu (ft) ifade etmektedir. H'nin birimi ft olduğundan arazide m cinsinden ölçülen bitki boyları ft'ye dönüştürülerek formüle entegre edilmiştir (1 feet=30,48 cm).

SC alt faktörü; yüzeysel akış sularının taşınma kapasitesini düşürme, çukur alanlarda çökelmeye neden olma ve damla etkisine duyarlı olan yüzey alanlarını azaltma suretiyle C-faktörünü şekillendirir. Ölü örtü, taş, bitki artıkları gibi toprakla direkt temas halindeki materyallerden oluşan yüzey örtüsü arttıkça erozyonun şiddeti azalmaktadır. SC'nin hesaplanışında Eşitlik 20 kullanılmıştır (Renard ve ark., 1997).

$$SC = \exp[-b \times Sp \times \left(\frac{0,24}{R_u}\right)^{0,08}] \quad (20)$$

Eşitlik 20'de;

SC: Yüzey örtüsü alt faktörünü,

b: Ampirik bir katsayıyı,

S_p: Yüzey örtüsüyle kaplı arazi yüzdesini (%),

R_u: Rastgele (random) pürüzlülük katsayısını ifade etmektedir.

b katsayısı Renard ve ark. (1997)'nda önerildiği gibi standart olarak 0,035 alınmıştır. Diğer parametreler sahadan ölçümle elde edilmiştir.

SR alt faktörü; su ve sediment için tuzak işlevi görme ve yüzeysel akış hızını azaltma suretiyle C-faktörüne etki eder. Yüzey pürüzlülüğü arttıkça erozyonun şiddeti azalmaktadır. Bu alt faktörün hesaplanışında Eşitlik 21 kullanılmıştır (Renard ve ark., 1997).

$$SR = \exp[-0,66 \times (R_u - 0,24)] \quad (21)$$

Eşitlik 21'de;

SR: Yüzey pürüzlülüğü alt faktörünü,

R_u ise: Rastgele pürüzlülük katsayısını ifade etmektedir.

SM alt faktörü; infiltrasyon ve yüzeysel akış dinamiklerini etkilemek suretiyle C-faktörünü şekillendirir. Toprak nemi arttıkça erozyonla kaybolan toprak miktarı da artmaktadır. Renard ve ark. (1997), SM değerinin teorik olarak 1 Nisan tarihinde 1 iken, 1 Eylülde 2 m'lik solma noktasına ulaşıldığında 0'a indiğini belirtmektedirler. Bu çalışmada da Renard ve ark. (1997)'nın SM'yi yıllık yağışla ilişkilendiren ilgili grafiklerinden ve örnek alanlarda belirlenen nem sınıflarından yararlanılarak Veliköy ve Olur PB'leri için sırasıyla ortalama 0,6 ve 0,4 SM değerlerinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Tüm alt faktörler hesaplandıktan sonra Eşitlik 18 ile örnek alanlar için hesaplanan C-faktör değerlerinin tüm çalışma alanına yayılarak haritalanması gerekmektedir. Bunun için NDVI haritasındaki piksel değerleri ve örnek alanlarda hesaplanan C-faktör değerleri arasındaki istatistik ilişkilere dayanarak geliştirilen ve 3.2.1.4.2 numaralı bölümde sunulan regresyon modellerden yararlanılmıştır.

2.3.6.5. Toprak Koruma Önlemleri (P) Faktörünün Hesaplanması

Uygulamada teras, ağaçlandırma vb. gibi aktif toprak koruma önlemleri alınmamış sahalar için P-faktörü haritası üretilmemekte ve P'nin 1'e eşit olduğu kabul edilerek erozyon üzerindeki etkisi yok sayılmaktadır. Çalışma alanlarında ÇNHRP kapsamında bir takım toprak muhafaza ve rehabilitasyon faaliyetleri yapılmış olmasına rağmen bunlar ormanın erozyonu önleme fonksiyonunun sayısallaştırılmasında kullanılmamıştır. Çünkü P-faktörü insan eliyle alınan toprak koruma faaliyetlerini ifade etmekte olup ekosistemlerin toprak koruma kapasiteleriyle ilgili değildir (bkz. Bölüm 2.3.1).

2.3.6.6. Sediment İletim Oranı ve Sediment Veriminin Hesaplanması

Veliköy ve Olur PB'lerinin sediment iletim oranları Eşitlik 22 yardımıyla hesaplanmıştır. Eşitlik 22, Boyce (1975) tarafından önerilmiş olup havzanın büyüklüğünü dikkate almaktadır (USDA, 1983).

$$\text{SİO} = 0{,}5656 \times B^{-0{,}11} \qquad (22)$$

Eşitlik 22'de;

SİO: Havzanın sediment iletim oranını,

B: Havzanın yüzölçümünü (km^2) ifade etmektedir.

Bu yolla hesaplanan sediment iletim oranı havzalardaki yıllık potansiyel toprak kaybı ile çarpılarak Veliköy ve Olur PB'lerinde havzayı terk eden toprak miktarı tahmin edilmiştir. Bu miktara sediment verimi de denir (Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016) ve Eşitlik 23 ile hesaplanır (USDA, 1983);

$$SV = SİO \times A \quad (23)$$

Eşitlik 23'te;

SV: Yıllık sediment verimi (t ha^{-1} $yıl^{-1}$),

SİO: Sediment iletim oranı,

A ise: Yıllık potansiyel toprak kaybını (t ha^{-1} $yıl^{-1}$) ifade eder. SV, havza alanı ile çarpıldığında derelerle taşınarak o havzayı terk eden yıllık toplam toprak miktarının kaç ton olduğu hesaplanabilir.

2.3.7. Senaryo 1 ile Sahadaki Maksimum Erozyonun Tahmini

Sahadaki maksimum erozyon; çalışma alanlarının üzerinde hiçbir bitki örtüsünün olmadığı ve herhangi bir toprak koruma önleminin (teras vs.) alınmadığı varsayılan *hipotetik durum*'da (Senaryo 1) gerçekleşebilecek su kaynaklı (yağış, yüzeysel akış vb.) erozyonun neden olduğu toprak kayıplarını ifade etmektedir (bkz. Bölüm 2.3.1). Sahadaki maksimum erozyonun tahmininde RUSLE modelinin sadece yağmur erozivite (R), toprak aşınımı (K) ve yamaç uzunluğu ve eğimi (LS) faktörleri kullanılmış; bitki örtüsü (C) ve toprak koruma önlemleri (P) faktörleri hariç tutulmuştur. Çünkü bu süreç yalnızca iklim, topografya ve toprak özellikleriyle şekillenmektedir (bkz. Şekil 24). Teoride, üzerinde bitki örtüsü bulunan sahalardaki maksimum erozyon miktarı, bir önceki bölümde tahmin edilen potansiyel erozyon miktarından her zaman daha fazladır.

2.3.8. Senaryo 2 ile Sahada Önlenen Erozyonun Tahmini ve TKPİ

Ormanın erozyonu önleme fonksiyonu; sahada gerçekleşebilecek maksimum erozyonla kaybolan toprak miktarından, potansiyel erozyonla kaybolan toprak miktarının CBS ortamında konumsal olarak birbirinden çıkartılmasıyla bulunmuştur (bkz. Bölüm 2.3.1). Piksel ölçeğinde hesaplanan bu değerler daha sonra ortalama olarak bölmecik (meşcere), arazi kullanımları (orman, mera, ziraat) ve PB ölçeğine çevrilerek yeniden değerlendirilmiştir. Erozyon önleme fonksiyonunun birincil göstergesi önlenen erozyondur (t ha^{-1} $yıl^{-1}$) (bkz. Şekil 24). Buna; bitki örtüsü sayesinde yerinde tutulan toprak miktarı ya da azaltılan erozyon da denilebilir.

Ancak önlenen erozyon miktarı (erozyonu önleme fonksiyonu) arazinin yapısal özellikleri (eğim, bakı vd.) yanı sıra çevresel faktörlerle de (yağış, sıcaklık vd.) ilintili olduğundan meşcere tiplerinin toprak koruma performanslarını tam olarak yansıtamaz. Örneğin; düz, toprak erodibilitesi düşük ve az yağış alan arazi parçası üzerinde bulunan tam kapalı bir meşcerenin önlediği toprak kaybı düşük olabilir. Bunun nedeni; o meşcere tipinin düşük performans göstermesi değil, çevresel koşulların erozyona elverişli olmamasıdır. Dolayısıyla, söz konusu meşcerenin erozyonu önleme fonksiyonunundan tam kapasite ile yararlanılamaz. Bu yüzden erozyonla ilgili çevresel etkilerin giderilerek farklı meşcere tiplerinin toprak koruma performansları ayrıca analiz edilmelidir.

Bu bağlamda, hazırlanan tez çalışması kapsamında toprak koruma performans indisi (TKPİ) geliştirilmiştir. Eşitlik 24 ile kolaylıkla hesaplanabilen TKPİ esasen; herhangi bir arazi parçası üzerinde bulunan bitki örtüsü tarafından önlenen erozyon miktarının, o araziden meydana gelebilecek maksimum erozyon miktarına oranlanmasıdır. Bu indis yardımıyla sahadaki tüm meşcere tiplerinin toprak koruma performansları dış etkilerden mümkün mertebe bağımsız olarak ortaya konabilir. Böylelikle, farklı meşcere tiplerinin erozyonu önleme fonksiyonunun gerçekleşmesine olan katkıları sayısal olarak değerlendirilebilir ki, bu durum orman amenajman planlaması için oldukça önemlidir.

$$TKP\text{İ} = \frac{y}{\mathrm{x}} \times 100 \qquad (24)$$

Eşitlik 24'te;

TKPİ: Toprak koruma performans indisi (%),

y: Önlenen toprak kaybı (t ha^{-1} $yıl^{-1}$),

x: Maksimum erozyon miktarını (t ha^{-1} $yıl^{-1}$) ifade etmektedir (bkz. Şekil 24).

TKPİ, teorik olarak 0'dan 100'e kadar değişim gösterebilir. TKPİ'i 0 olan bir meşcerenin erozyonu önleme fonksiyonuna olan katkısı sıfırdır. TKPİ'si 100 olan bir meşcere ise bulunduğu sahada oluşabilecek erozyonun tamamını (%100'ünü) önleyebiliyor demektir. Veliköy ve Olur PB'lerindeki tüm TKPİ değerleri CBS ortamında bölmecik ölçeğinde hesaplanmıştır. Daha sonra orman amenajman planlarının sayısal veri tabanı içinde bulunan BOLMECIK katmanına ait öznitelik tablosuna yeni bir sütun açılarak (TKPİ) bu değerler işlenmiştir. Böylece planlamacı ilgilendiği bölmeciğin toprak korumada ne kadar başarılı olduğunu nicel olarak değerlendirebilir. Bunun yanı sıra erozyonu önleme fonksiyonu açısından optimal meşcere tipleri hakkında bilgi sahibi olunabilir.

2.3.9. Erozyonu Önleme Fonksiyonu Görecek Sahaların Belirlenmesi ve Tolere Edilebilir Toprak Kaybı

Tolere edilebilir toprak kaybı kavramı; belirli bir zaman dilimi içerisinde doğal süreçlerle meydana gelen toprak oluşum miktarını aşmayan erozyon miktarı olarak tanımlanabilir. Bu miktar, kimi zaman "izin verilebilir erozyon" olarak da isimlendirilir (Morgan, 2005). Birim alandaki toprak kaybı miktarı, tolere edilebilir limitler içerisinde ise; o alandaki toprak kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetildiği anlaşılır. Bu tip alanlarda, uzun vadede doğal yolla oluşan toprak üretimi yeterlidir ve erozyon riskinden söz edilmez (Verheijen ve ark., 2009). Örneğin Alewell ve ark. (2015), dağlık alanlardaki genç toprakların yıllık toprak oluşum miktarının 4,15 t ha^{-1} ile 8,81 t ha^{-1} arasında (ort. 6,48 t ha^{-1}) olduğunu hesaplamışlardır. Bu ortalama doğru kabul edilirse, erozyonun olmadığı sahalarda toprak katmanı yılda ort. 0,648 mm kalınlaşıyor demektir. Yine de tolere edilebilir toprak kaybı miktarı için genel kabul görmüş tek bir değer yoktur. Birçok araştırmacı, dünyanın farklı bölgelerindeki çeşitli toprak türleri için farklı değerler öne sürmüştür. Fakat bu değerlerin çoğunlukla 1 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ ve 12,5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ arasında değiştiği anlaşılmaktadır (NRCS, 1999;

Morgan, 2005; Lakaria ve ark., 2008; Li ve ark., 2009). Bu çalışmada; Wischmeier ve Smith (1978), Foster ve Constantini (1991), Morgan (2005), Mandal ve ark. (2006) ve Erpul ve ark. (2013) tarafından önerilen tolere edilebilir ort. toprak kaybı (5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$), eşik değer olarak kullanılmıştır. Yılda 5 t ha^{-1} olarak gerçekleşen toprak kaybı miktarı, üst toprak katmanını aşındırarak onu her yıl yaklaşık 0,5 mm inceltecektir. Dolayısıyla, bu miktarın üzerinde gerçekleşecek toprak kayıplarının, Alewell ve ark. (2015)'nın belirlediği ort. toprak oluşum miktarına (0,648 mm) yaklaşarak ya da onu geçerek, farklı şiddetlerde erozyon riski oluşturacağı için, söz konusu sahaların orman amenajman planlarında erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılmasına karar verilmiştir. Aksi takdirde sürdürülebilir arazi kullanımından söz edilemez. Bununla birlikte, toprak derinliğinin de tolere edilebilir toprak kaybı miktarı üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Örneğin; sığ topraklarda bu miktar 1−2 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'a kadar inebilirken, derin topraklarda ise 12,5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'a kadar çıkabilmektedir.

Erozyonu önleme fonksiyonu görecek orman alanlarının belirlenmesinde, çalışma alanları için RUSLE modeliyle üretilen yıllık potansiyel toprak kaybı haritaları altlık olarak kullanılmıştır. Bunun için ArcGIS'in *Raster Calculator* aracının "Con" fonksiyonu kullanılarak potansiyel toprak kaybı haritası, eşik değerin altında ve üstünde erozyon gerçekleşen alanlar olarak, piksel ölçeğinde iki ayrı sınıfa ayrılmıştır. Diğer bir ifadeyle, haritada gerçekleşen erozyonun 5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'ın altında olduğu pikseller "2", üstündekiler ise "1" olarak kodlanmıştır.

Diğer taraftan, meşcere haritasındaki orman alanlarına (ağaçsız orman toprağı, orman içi taşlık kayalık alanlar, sonu "–E" ile biten meşcere tipleri, boşluklu kapalı ormanlar dahil) ait tüm bölmecikler, ArcGIS'in *Select by attribute* fonksiyonuyla seçilerek yeni bir shapefile dosyası olarak kaydedilmiştir. Daha sonra *Zonal Statistics as Table* aracının "Majority" fonksiyonuyla orman bölmecikleri içinde kalan piksellerin çoğunluğunun hangi sınıfa ait olduğu (1 ya da 2 kodu) tespit edilmiştir. Devamında zonal tablo BOLMECIK katmanına *Join* ile bağlanarak, ilgili kodlar yeni açılan sütuna yazdırılmıştır. Son olarak, bu sütundaki kodlar uyarınca meşcere tipi rumuzları güncellenmiştir. Buna göre, "1" kodlu bölmeciklerin rumuzlarının sonuna "–E" (erozyon) sembolü eklenmiştir. Bu sembol; o bölmecikteki erozyonun tolere edilebilir miktardan fazla olduğunu ve bu yüzden erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılması gerektiğini göstermektedir. "2" kodlu bölmeciklere ise herhangi bir sembol

eklenmemiş, −eğer hali hazırda mevcutsa− sonundaki "–E" sembolü kaldırılmıştır. Dolayısıyla, sonunda "–E" bulunmayan orman bölmeciklerinin bu fonksiyona ayrılmasına gerek yoktur. İlgili amenajman yönetmeliğine (OGM, 2017) göre; mera, ziraat, iskan gibi orman dışı sahalara herhangi bir orman fonksiyonu atanamayacağından, bu tip bölmeciklerin rumuzlarına dokunulmamıştır.

2.3.10. Periyodik Etadaki Kayıp ve Kazançların Hesaplanması

Bu tez çalışmasında sunulan yaklaşımla üretilen yeni orman fonksiyon haritaları ile mevcut orman amenajman planlarında yer alan fonksiyon haritaları arasında bir takım farklılıklar oluşmuştur. Konumsal ve tematik anlamdaki bu farklılıklar temelde iki yönlüdür ve işletme şefliklerinden plan süresince (20 yıl) elde edilen toplam odun hasılatına (periyodik eta) etkileri hem kayıp hem de kazanç şeklinde olmuştur. Hazırlanan tezde sunulan yaklaşım ile erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılmış meşcerelerde üretimin tamamen engellenmesi, periyodik etaya kayıp olarak yansımış ve işletmenin odun üretimini düşürmüştür. Benzer şekilde, orman amenajman planında üretim fonksiyonuna verilmiş olan fakat erozyon açısından riskli olması dolayısıyla bu çalışmada erozyonu önleme fonksiyonuna geçirilen meşcerelerden kaynaklı kayıplar da yaşanmıştır. Bunların aksine, %80 ve üstü eğime sahip olmasına rağmen erozyon açısından riskli görülmeyen, üretime uygun sahaların doğayı koruma fonksiyonundan çıkarılarak üretim fonksiyonuna verilmesi ile periyodik etada kazanç sağlanmış yani işletmenin odun üretimi arttırılmıştır.

Söz konusu kayıp ve kazançların hesaplanabilmesi için erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılan meşcerelerin ve doğayı koruma fonksiyonundan alınarak üretime verilen meşcerelerin dökümü çıkarılmıştır. Bu dökümde bölme numarası, meşcere tipi, silvikültürel müdahale şekli (gençleştirme veya bakım), alan ve periyodik eta sütunları yer almaktadır. Kayıp yaşanan meşcerelerin etaları orman amenajman planından olduğu gibi alınmıştır. Doğayı korumadan çıkarılıp üretime verilen yani kazanç sağlanan meşcerelerin etaları ise silvikültürel müdahale şekline göre yeniden hesaplanmış ya da kararlaştırılmıştır. Buna göre; döküm tablosunda yaş sınıfı idare süresini (Veliköy Çs: 120, G: 100, L: 120, M: 140; Olur Çs: 120) geçmiş olan meşcereler gençleştirmeye verilerek son hasılat etası yaş sınıfları metoduna göre Eşitlik 25 ve Eşitlik 26 ile hesaplanmıştır. Hektardaki hacim ve yıllık cari hacim artımı

değerleri amenajman planlarındaki 13 numaralı tablolardan çekilmiştir. İdare süresi dolmamış 2 ve 3 kapalı meşcere tiplerinde ise ara hasılat etası, dönüş süresindeki (10 yıl) toplam cari hacim artımının %30'u kadar kararlaştırılmıştır. OGM (2017)'de belirtildiği üzere 1 kapalı meşcerelere ara hasılat etası verilmemiştir. Daha sonra kararlaştırılan etalar iki ile çarpılarak plan süresi olan 20 yıllık ara hasılat miktarları bulunmuş ve böylece periyodik son hasılat etası ile uyumlu hale getirilmiştir. Son olarak ara hasılat ve son hasılat etaları bölmeciklerin alanları ile çarpılarak döküm tablosundaki periyodik eta sütununa yazılmıştır. Bu sütunun toplamı, planlama birimlerinden plan süresince (20 yıl) elde edilebilecek toplam etadaki kazancı yani odun üretimindeki artışı göstermektedir.

$$E_p = V_s + Z \tag{25}$$

$$Z = z \times (n / 2) \tag{26}$$

Eşitlik 25 ve 26'da;

E_p: Periyodik (20 yıllık) son hasılat etası (m^3),

V_s: İlk periyotta gençleştirmeye alınacak meşcerenin ağaç serveti (m^3),

Z: V_s servetinin progresif azalan artımı (m^3),

z: V_s servetinin periyot başlangıcındaki artımı (m^3),

n ise: Periyot uzunluğudur (yıl).

2.3.11. İstatistik Analizler

Bu bölüme kadar yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler ve bunların birbirleriyle olan ilişki ve farklılıkları istatistik açıdan değerlendirilerek modellenmiştir. Tezin ana amaçlarından biri erozyon önleme fonksiyonu için yeni göstergeler geliştirmek olduğundan, yapılan tüm işlemlerde yalnızca erozyonla ilgili veriler (K-faktörü, önlenen toprak kaybı, potansiyel toprak kaybı vd.) bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Meşcere parametrelerinin kendi aralarında gösterebileceği ilişkiler çalışma kapsamı dışında olduğundan analiz edilmemiştir.

Aşağıda ayrıntılı olarak anlatılan tüm analizler SPSS 20.0 yazılımında (SPSS, 2012) gerçekleştirilmiştir.

2.3.11.1. Kolmogorov−Smirnov Testi

Bu çalışma kapsamında uygulanan tüm parametrik testleri gerçekleştirmeden önce ilgili verisetinin normal bir toplumdan gelip gelmediği kontrol edilmiştir. Normallik testi de denilen bu işlem için Kolmogorov−Smirnov testi uygulanmıştır. Kolmogorov−Smirnov testi normallik önkoşulunu değerlendirmek için istatistikte kullanılan yaygın testlerden biridir (Kalaycı, 2009). Bir örnekten elde edilen gözlem değerlerine ait dağılımın kuramsal dağılıma (örn; çan eğrisi) uygun olup olmadığını denetler. Bu test 1933 yılında Kolmogorov tarafından önerilmiş olup kritik değerler tablosu Smirnov tarafından geliştirilmiştir (Akalp, 2016).

Kolmogorov−Smirnov testinde ki-kare uygunluk testinin aksine gerçek ve kuramsal frekansların beşten çok olması önkoşulu yoktur. Dolayısıyla büyük örneklerle çalışmayan araştırmalar için de kullanımı uygundur. Bu çalışmada normal dağılım önkoşulunu karşılamayan verisetleri ya normal dağılıma dönüştürülmüş ya da analize sokulmamıştır. Normal dağılıma dönüştürme işlemi mevcut dağılımın çarpıklık ve basıklık değerlerine göre yapılmıştır. Basık dağılımlar için hiperbolik (1/x), sola çarpık dağılımlar içinse karekök dönüşümü uygulanmıştır (Hair ve ark., 1998). Sağa çarpık dağılım gösteren veriseti ile karşılaşılmamıştır. Tez akışının bozulmaması adına Kolmogorov−Smirnov testine ait tablolara yer verilmemiş, yalnızca sonuçların metinde belirtilmesiyle yetinilmiştir ($p<0,05$; $p>0,05$ gibi).

2.3.11.2. Pearson'ın Korelasyon Analizi

Sürekli veri tipindeki bağımlı değişkenler ile araziden ölçümle elde edilen toprak özellikleri, meşcere parametreleri ve ekolojik değişkenler arasındaki ilişkilerin ve bunların şiddetinin belirlenmesi amacıyla Pearson'ın korelasyon analizi kullanılmıştır. Korelasyon analizi iki değişken arasındaki potansiyel ilişkiyi sınamak, şayet herhangi bir ilişki varsa söz konusu ilişkinin şiddetini ölçmek için yararlanılan istatistiksel bir yöntemdir (Kalaycı, 2009). Varolan ilişkinin şiddeti korelasyon katsayısı ile hesaplanır. Bu katsayı r sembolü ile gösterilir. r; −1 ve 1 aralığında bir değer alır. Bu değer 1'e yakın ise değişkenler arasında kuvvetli pozitif ilişkiden; −1'e yakınsa

kuvvetli negatif ilişkiden söz edilir. Değer 0'a yaklaştığında ise zayıf bir ilişki var demektir. Ancak bu değer hiçbir zaman tam 0 veya tam 1 olmaz. Çünkü böyle olması matematik kesinlik olduğunu; diğer bir ifadeyle, olasılıktan söz edilemeyeceğini anlatır (Akalp, 2016). Korelasyon analizi yalnızca ilişkinin şiddeti (gücü) ve yönüyle ilgili bilgi verir. Dolayısıyla buradan nedensellikle ilgili bir sonuca varılamaz (Kalaycı, 2009).

Bu çalışmada gerçekleştirilen korelasyon analizinde, Veliköy ve Olur PB'lerine ait verisetleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çünkü çalışma alanlarının yetişme ortamı koşulları birbirinden farklıdır. Ayrıca çalışma alanları beraber ele alındığında ilişkiler daha zayıf bulunmuştur. Çok sayıdaki bağımsız değişken ile bağımlı değişkenler arasındaki anlamlı ($p<0,05$) korelasyonlar çok fazla olduğu için metin içerisindeki tabloların toprak özellikleriyle ilgili olanlarında yalnızca $r=0,30$ ve üzeri; erozyonu önleme fonksiyonuyla ilgili olanlarında ise yalnızca $r=0,50$ ve üzeri şiddetteki ilişkilere yer verilmiştir. Daha düşük şiddetlerde olan fakat yine de anlamlı görülen ($p<0,05$) korelasyonların tamamı Ek-13 ve Ek-14'te sunulmuştur.

2.3.11.3. Bağımsız Örneklemler t-Testi

Bağımsız örneklemler t-testi (independent samples t-test) iki farklı örnek grubunun ortalamalarını karşılaştıran en yaygın parametrik testlerden bir tanesidir. Bu testin uygulanabilmesi için iki grubun birbirinden ayrık olması ve kesinlikle ortak bir üyelerinin bulunmaması gerekir (Kalaycı, 2009). Bu tez çalışmasında sürekli veri tipindeki bağımlı değişkenlere ait ortalamaların orman yapısı (aynı yaşlı−seçme), bakı grupları (gölgeli−güneşli) gibi iki alt faktöre sahip kategorik verilere göre istatistik olarak anlamlı farklılıklar gösterip göstermediğinin belirlenmesi için bağımsız örneklemler t-testi uygulanmıştır. Anlamlı farklılık ($p<0,05$) gösteren gruplar "Bulgular ve Tartışma" bölümünde her iki çalışma alanı için ayrı ayrı sunularak yorumlanmıştır.

2.3.11.4. Tek Yönlü Varyans Analizi

Varyans analizi ikiden fazla sayıda olan ortalamaların karşılaştırılması için kullanılır. Bu ortalamalar arasında istatistik açıdan anlamlı farklılıkların olup olmadığıyla ilgili

hipotez test edilir. Bu hipotezi test etmek için F değeri kullanılır. Bu değer arzu edilen anlamlılık düzeyinde tablo değerinden küçükse H_0 hipotezi reddedilemez. Başka bir ifadeyle; ortalamalar arasında anlamlı bir farkın olmadığı sonucuna varılır. Aksi takdirde ortalamalar arasında anlamlı bir fark vardır yargısı geçerlidir (Kalaycı, 2009).

Bu çalışmada, sürekli veri tipindeki bağımlı değişkenlere ait ortalamaların teknik müdahale şekli (gençlik bakımı, aralama, gençleştirme vd.) ya da sosyal baskı türü (kaçak kesim, otlatma, yerleşim, rekreasyon vd.) gibi ikiden çok alt faktöre sahip kategorik veriye göre istatistik olarak anlamlı farklılıklar gösterip göstermediğinin belirlenmesi için tek yönlü varyans analizi (One-way ANOVA) gerçekleştirilmiştir. $p<0,05$ önem düzeyinde farklılığa neden olan değişkenler "Bulgular ve Tartışma" bölümünde her iki çalışma alanı için ayrı ayrı sunulmuştur. Daha sonra farklılığın hangi alt faktör ya da faktörlerden kaynaklandığını belirlemek için *post-hoc* testleri yapılmıştır. Uygun *post-hoc* testinin seçilmesi aşamasında varyansların homojen olup olmadığına Levene testiyle karar verilmiştir. Levene testi sonucunda ortaya çıkan önem düzeyi $p<0,05$ ise varyansların homojen (eşit) olduğu hipotezi reddedilmiştir (Kalaycı, 2009). Levene istatistiğine dayalı olarak varyansların homojen olduğu durumlarda Tamhane, homojen olmadığı durumlarda ise Tukey testi tercih edilmiştir.

2.3.11.5. Regresyon Analizi ve Modellerin Geliştirilmesi

Daha önceki bölümde açıklanan korelasyon analizinin iki değişken arasındaki ilişkinin şiddeti ve yönünü ölçtüğü, nedensellik hakkında bir şey ifade etmediği belirtilmişti. İlişkinin neden−sonuç bağlamında açıklanabilmesi için regresyon analizi kullanılır. Regresyon analizi bağımlı bir değişkenin bir ya da daha çok bağımsız değişkene göre nasıl şekillendiğini belirler. Buradaki amaç; bağımsız değişkenin bilinen değerlerine dayalı olarak bağımlı değişkenin tahmin edilmesidir. Genellikle doğrudan ölçümü zor olan değişken bağımlı değişken olarak, ölçümü daha kolay olan değişken(ler) ise bağımsız değişken(ler) olarak analize girer (Akalp, 2016). Örneğin; regresyon analizi sayesinde arazide ölçümü zahmetli ve hatalı olabilen ağaç boyları, ölçümü daha basit ve az hatalı olan gövde çapı yardımıyla tahmin edilebilmektedir.

Bu çalışmada ölçümü oldukça zahmetli olan C-faktörü değerleri, uzaktan algılama görüntülerinden kolaylıkla hesaplanabilen NDVI değerleri üzerinden basit doğrusal

regresyon ile tahmin edilmiştir. Buradaki doğrusallık model eğrisiyle değil, değişkenler arasındaki etkileşimle alakalıdır (Kalaycı, 2009). Analizde NDVI değerleri bağımsız değişken, C-faktörü değerleri ise bağımlı değişken olarak girilmiştir. Daha sonra SPSS'in *Curve Estimation* menüsünden farklı regresyon eşitliklerine ait modeller üretilmiştir. Bu modellerin matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir;

Doğrusal: $$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 \quad (27)$$

Logaritmik: $$Y = \beta_0 + \beta_1 . lnx_1 \quad (28)$$

Parabolik: $$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 {x_1}^2 \quad (29)$$

Kübik: $$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 {x_1}^2 + \beta_3 {x_1}^3 \quad (30)$$

Birleşik: $$Y = \beta_0 . {\beta_1}^{x_1} \quad (31)$$

S: $$Y = exp(\beta_0 + \left(\frac{\beta_1}{x_1}\right)) \quad (32)$$

Üssel: $$Y = \beta_0 . x_1 \beta_1 \quad (33)$$

Ters: $$Y = \beta_0 + \left(\frac{\beta_1}{x_1}\right) \quad (34)$$

Üstel: $$Y = \beta_0 [exp(\beta_1 x_1)] \quad (35)$$

Büyüme: $$Y = exp(\beta_0 + \beta_1 x_1) \quad (36)$$

Lojistik: $$Y = 1/[\frac{1}{u} + \left(\beta_0 . {\beta_1}^{x_1} \right)] \quad (37)$$

Yeni model: $$Y = \beta_0 + \left(\frac{\beta_1}{{x_1}^2}\right) \quad (38)$$

Eşitlik 27−38'de;

Y: Bağımlı değişken (C-faktörü),

β_0, β_1, β_2 ve β_3: Regresyon modellerin katsayıları,

x_1: Bağımsız değişken (NDVI),

u: Lojistik modelin üst tahmin sınırını ifade etmektedir. C-faktörü 0 ve 1 arasında değiştiği için buradaki u=1'dir.

Basit doğrusal regresyon modelleri birçok durumda kullanışlı olmalarına rağmen gerçek hayattaki bazı problemler tek bir değişkenle açıklanamamaktadır. Bu tip karmaşık problemlerin çözümü için iki veya daha fazla bağımsız değişkenin kullanıldığı çoklu doğrusal regresyon modellerine ihtiyaç duyulmaktadır (Kalaycı, 2009). Bu çalışmada da yukarıda sıralanan modellere ilaveten çoklu doğrusal regresyon modelleri geliştirilmiştir. Bunun için SPSS programının *Compute Variable* menüsünde NDVI üzerinden yeni değişkenler türetilmiştir. Bu değişkenlerin kullanımıyla yine SPSS'teki *Enter* metodu, *Değişken ekleme (forward selection)* metodu, *Değişken eleme (backward selection)* metodu ve *değişken ekleme ve eleme (stepwise selection)* metotlarıyla ilave modeller kurulmuştur. Kurulan modeller arasından en başarılı olanı bir sonraki bölümde tanıtılan kriterler yardımıyla seçilmiştir. Böylelikle C-faktörü UA görüntüleri yardımıyla modellenmiştir.

2.3.11.5.1. En Başarılı Modelin Seçimi

En başarılı modelin seçimi işlemine başlamadan önce, geliştirilen tüm modellerden bir bütün olarak anlamsız olanlar ($p<0,05$), model katsayılarından en az bir tanesi anlamsız olanlar ($p<0,05$) ve genel ekoloji yasalarına uymayanlar elenmiştir. Geride kalan modellerin tahmin başarıları ise; düzeltilmiş belirtme katsayısı ($R^2_{düz.}$), hata kareler ortalamasının karekökü (HKOK), hata kareler toplamı (HKT), hata kareler ortalaması (HKO), ortalama mutlak hata (OMH), Akaike bilgi ölçütü (AIC), Sawa'nın Bayezyen bilgi ölçütü (BIC) ve Schwarz'ın Bayezyen ölçütü (SBC) yardımıyla değerlendirilmiştir. Bu istatistik ölçütlere ilişkin eşitlikler aşağıda yer almaktadır.

$$R^2 düz. = 1 - \frac{HKT/(n-k)}{HKTF/(n-1)} \tag{39}$$

$$HKOK = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Oi - Pi)^2}{n-1}} \tag{40}$$

$$HKT = \sum_{i=1}^{n} (Oi - Pi)^2 \quad (41)$$

$$OMH = \sum_{i=1}^{n} \frac{|Oi - Pi|}{n} \quad (42)$$

$$AIC = n.\ln(\frac{HKT}{n}) + 2k \quad (43)$$

$$BIC = n.\ln\left(\frac{HKT}{n}\right) + \frac{2(k+2).n.\sigma^2}{HKT} - \frac{2.n^2.\sigma^4}{HKT^2} \quad (44)$$

$$SBC = n.\ln\left(\frac{HKT}{n}\right) + k.\ln(n) \quad (45)$$

Eşitlik 39−45'te;

HKT: Hata kareler toplamı,

n: Örnek sayısı,

k: Bağımsız değişkenlerin sayısı,

O_i: Gözlenen değer,

P_i: Tahmin edilen (beklenen) değeri ifade etmektedir.

$R^2_{düz.}$ ise; gözlenen ve tahmin edilen değerler arasındaki korelasyon olarak tanımlanabilir.

$R^2_{düz.}$, bağımlı değişkendeki varyasyonun regresyon modeli tarafından açıklanabilen kısmını belirtir. Dolayısıyla 1'e yaklaştıkça modelin tahmin başarısı artmaktadır (Loague ve Green, 1991). *HKOK*; gözlenen ve tahmin edilen değerler arasındaki farkı değerlendiren istatistiksel bir ölçüttür. Bu ölçüt özellikle UA çalışmalarında harita başarısını değerlendirirken sıklıkla kullanılmaktadır. HKOK 0'a ne kadar yakın olursa modelin tahmin başarısı o kadar artmaktadır (Congalton ve Green, 2009). *HKT*; gözlenen ve tahmin edilen değerler arasındaki farkların karelerinin toplamı olup, ne kadar küçük değer alırsa, yapılan tahmin o kadar düşük hatalıdır. *OMH*; tahmin

değerlerinin nihai model çıktılarına ne kadar yakın olduğunu belirten kullanışlı ölçütlerden bir diğeridir. OMH her zaman pozitif değerler almakta olup en düşük değere sahip modelin tahmin başarısı en iyidir (Chai ve Draxler, 2014). *AIC*, *BIC* ve *SBC* ise regresyon modellerinin uyumu yanısıra gözlenen veri aralığına göre belirsizliği değerlendiren önemli bilgi ölçütleridir. Bu ölçütlerin genellikle negatif değerler aldığı ve değer düştükçe model performansının arttığı belirtilmektedir (Akaike, 1973; Sawa, 1978; Schwarz, 1978).

Yukarıda sıralanan istatistik ölçütlere dayalı olarak tüm modeller ayrı ayrı puanlandırılmıştır. $R^2_{düz.}$'si en yüksek olan modele tam puan verilirken bu değer düştükçe modellerin puanları da birer birer düşmektedir. $R^2_{düz.}$ dışındaki diğer tüm ölçütlerde ise en düşük değere sahip olan model en yüksek puanı almıştır. Benzer şekilde hatalar yükseldikçe modele verilen puanlar birer birer düşürülmüştür. Sonuç olarak her bir modelin yedi ayrı ölçütten aldıkları puanlar toplanmış ve toplam puan sütununa yazılmıştır. Toplam puanı en yüksek olan modelin tahmin başarısının da en yüksek olduğu değerlendirilmiş ve bu model "Bulgular ve Tartışma" bölümünde C-faktörü modeli olarak önerilmiştir. Örneğin; 10 ayrı model (doğrusal, kübik, üssel vd.) birbiriyle karşılaştırılırken $R^2_{düz.}$ en yüksek olan model 10 puan, daha düşük olan model 9 puan, daha düşük olan model 8 puan … şeklinde puanlandırma yapılmaktadır. Aynı modeller HKOK açısından değerlendirildiğinde ise; en düşük HKOK'ye sahip olan model 10 puan, daha yüksek olan model 9 puan … şeklinde puanlandırılır. Tüm ölçütler benzer şekilde puanlandırıldıktan sonra modellerin her bir ölçütten aldıkları puan toplanarak toplam puanı en yüksek olan model birinci model olur. Bu yaklaşımla en başarılı C-faktörü modelinin seçimine somut örnek teşkil etmesi açısından Vatandaşlar ve Yavuz (2017)'un çalışmasına başvurulabilir.

2.3.12. Meşcere Tipi Ölçeğinde Kılavuz Erozyon Tablosunun Oluşturulması

Plan yapıcının meşcere ölçeğinde alması gereken kararlara (fonksiyonlara ayırma, eta belirleme, silvikültürel müdahale vd.) altlık oluşturmak ve farklı kuruluşlardaki meşcere tiplerine ait toprak kaybı bilgisi sunmak için kılavuz erozyon tablosu hazırlanmıştır. Bunun için her iki planlama biriminde de ayrı işletme sınıfı bulunan Sarıçam türü seçilmiştir. Bu türün seçilmesindeki diğer etmenler; meşcere tipi

ölçeğinde genelleme yapabilmek için yeterli verinin bulunması ve Sarıçamın Türkiye'de 1538304 ha (toplam ormanlık alanın %7'si) gibi geniş bir yayılış alanına sahip olan önemli orman ağacı türlerimizden biri olmasıdır (OGM, 2020).

Veliköy ve Olur PB'leri için toplanan tüm veriler saf Sarıçam meşcereleri için birleştirilerek toplu olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme aşamasında yukarıda anlatılan çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Sonuç olarak erozyonu önleme fonksiyonun orman amenajman planlarına daha doğru bir şekilde yansıtılabilmesi için planlamacıların pratik olarak kullanabileceği genel bir kılavuz tablo oluşturulmuştur. Tablonun sol tarafında farklı gelişme çağı, kapalılık ve eğim sınıfındaki 22 ayrı saf Sarıçam meşcere tipi, sağ tarafında ise bu meşcerelerin bulunduğu sahalarda gerçekleşen ortalama potansiyel toprak kaybı miktarları (t ha^{-1} $yıl^{-1}$) yer almaktadır. Wischmeier ve Smith (1978), Foster ve Constantini (1991), Morgan (2005) ve Mandal ve ark. (2006) yıllık ortalama toprak kaybı ha'da 5 tonu geçen sahaların erozyon açısından kritik olduğunu belirtmektedirler. Bu nedenle, plan yapıcıların söz konusu meşcereleri erozyonu önleme fonksiyonuna ayırmaları, ayrılan sahalardan ara hasılat almamaları ve gerekli görüldüğünde bu sahalarda koruma, rehabilitasyon ya da ağaçlandırma faaliyetlerinde bulunmaları beklenir. Unutulmaması gereken konu, bu tablonun bölmecik değil meşcere bazındaki ortalamalardan oluştuğudur. Dolayısıyla, tabloda yıllık ortalama toprak kaybı 5 tonu geçtiği belirtilen bir meşcere tipine ait bazı bölmecikler erozyon açısından risk teşkil etmeyebilir (rumuzunun sonunda –E olmayabilir). Bu durumun tam tersi de geçerlidir. Dolayısıyla, buradaki esas amaç planlamacıya genel bir yaklaşım sunmaktır.

2.3.13. Fonksiyonun Hasılat Tablosuna Entegrasyonu

Erozyonu önleme fonksiyonunun orman amenajman planlarına yansıtılmasını kolaylaştırmak için toprak koruma performans indisi (TKPİ), önlenen toprak kaybı ve potansiyel toprak kaybı verileri asli meşcerenin gövde hacmi ve yaş sınıfı üzerinden Sarıçam Hasılat Tablosu'na (Batu, 1971) entegre edilmiştir. Bunun için her iki planlama birimindeki koruma fonksiyonlu alanlarda (az ya da hiç müdahale görmemiş) bulunan tam kapalı (%70−%100) tüm saf Sarıçam meşcereleri seçilmiş ve birleştirilmiştir. Söz konusu meşcerelerin bulunduğu alanlar, eğim durumuna göre iki

ayrı sınıfa ayrılmıştır. %30'un altında eğime sahip alanlar düşük eğimli, %30 ve üstü eğime sahip alanlar ise yüksek eğimli olarak değerlendirilmiştir. Hasılat tablosuna üç yeni sütun eklenerek ilgili veriler eğim sınıfları itibariyle ayrı ayrı girilmiştir. Çalışma sahalarına ait meşcerelerin ortalama III. bonitet (orta verimlilik) sınıfında oldukları görülmüştür. Bu nedenle, Batu (1971)'nun III. bonitet sınıfı için hazırlamış olduğu genel hasılat tablosu baz alınmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Envanter Verilerine İlişkin Bulgular

3.1.1. Meşcere Parametreleri

Veliköy Planlama Birimi'nde; orman ekosistemine düşen örnek alanlarda yapılan ölçümlerle elde edilmiş meşcere parametrelerine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 20'de yer almaktadır. Buna göre Veliköy ormanlarının ortalama olarak IV. yaş sınıfında olduğu belirlenmiştir. Koruma fonksiyonlu ormanlardaki yaş ise X. yaş sınıfına yaklaşmıştır. Üretim işletme sınıflarında gençleştirmeye daha fazla önem verilmezse ormanın önümüzdeki periyotlarda daha da yaşlanarak sürdürülebilirliğin tehlikeye girebileceği değerlendirilmiştir. Genelde tam (3) kapalı meşcerelere sahip olan Veliköy PB yaklaşık olarak ort. 30 m^2 ha^{-1} göğüs yüzeyine ve ort. 300 m^3 ha^{-1} dikili kabuklu ağaç servetine sahiptir. Meşcerelerdeki hakim ağaç türlerinin yıllık cari çap artımları ort. 3,5 mm'dir. Meşcere karışımına katılan 2. türün yıllık cari çap artımı ise ort. 3,4 mm'dir. Orta yaşın üzerinde bulunan bir orman için böylesine yüksek artım değerleri yetişme ortamı verim gücünün iyi olmasına dayandırılmıştır. Meşcere üst ve orta boyları ortalama olarak 19,2 ve 18,1 m'dir. Aşırı derecede diri örtü görülmeyen Veliköy'de yalnızca 5 örnek alanda seyrek orman gülüne rastlanmıştır. Orman tabanındaki ölü örtü kalınlığı ise ort. 2,7 cm'dir. Böylesine sık ve verimli bir orman için nispeten düşük görülebilecek olan bu değer (Berg ve Laskowski, 2006), Veliköy'deki karışık ibreli meşcereler yüzünden ölü örtünün hızlı ayrışma süreciyle ilişkilendirilmiştir. Çünkü daha önce Artvin'de yapılmış olan ölü örtü çalışmaları özellikle kuzey bakılı yamaçlarda bulunan karışık ormanların tabanındaki ölü örtü tabakasının saf ormanlara göre daha hızlı çürüyerek toprağa karıştığını göstermiştir (Sarıyıldız ve ark., 2005; Sarıyıldız ve Küçük, 2008).

Tablo 20. Örnek alanlarda ölçülen meşcere parametrelerine ilişkin bulgular

Meşcere parametreleri	Veliköy Planlama Birimi				Olur Planlama Birimi			
	Min.	**Ort.**	Maks.	S	Min.	**Ort.**	Maks.	S
Yaş (aktüel) (yıl)	29,0	**75,8**	193,0	31,2	23,0	**88,8**	152,0	28,7
Yaş (APP*) (yıl)	33,0	**82,2**	150,0	27,5	– **	–	–	–
Yıllık çap artımı (1.tür) (mm)	1,0	**3,5**	12,6	2,2	1,0	**2,8**	8,0	1,7
Yıllık çap artımı (2. tür)(mm)	1,2	**3,4**	8,2	1,6	1,1	**2,1**	2,6	0,7
G *** (aktüel) (m^2 ha^{-1})	9,0	**29,3**	68,0	13,5	0,0	**19,1**	47,0	12,3
G *** (relaskop) (m^2 ha^{-1})	8,0	**31,4**	66,0	13,6	0,0	**20,6**	43,0	12,1
G *** (APP*) (m^2 ha^{-1})	9,0	**37,0**	79,0	14,6	2,0	**18,6**	44,0	10,9
Ağaç sayısı (aktüel) (ad ha^{-1})	113,0	**765,1**	1849,0	370,6	50,0	**432,6**	950,0	212,6
Ağaç sayısı (APP*) (ad ha^{-1})	100,0	**770,0**	1708,0	342,4	62,0	**428,5**	1200,0	241,3
Servet (aktüel) (m^3 ha^{-1})	50,0	**304,0**	756,0	158,6	1,0	**162,4**	448,0	119,0
Servet (APP*) (m^3 ha^{-1})	74,0	**396,6**	800,0	181,9	12,0	**161,0**	429,0	105,8
Orta boy (m)	5,0	**18,1**	30,0	5,7	1,2	**11,7**	23,0	6,7
Üst boy (m)	9,0	**19,2**	37,7	6,1	4,0	**11,7**	24,0	7,2
Kapalılık (aktüel) (%)	10,0	**69,4**	100,0	20,3	4,0	**50,9**	85,0	22,6
Kapalılık (ortofoto) (%)	15,0	**71,4**	95,0	18,4	5,0	**57,7**	85,0	19,6
Dikili kuru sayısı (ha^{-1})	0,0	**10,5**	150,0	22,2	0,0	**20,2**	250,0	43,8
Devrik sayısı (ha^{-1})	0,0	**25,0**	175,0	35,7	0,0	**14,8**	300,0	42,8
Dip kütük sayısı (ha^{-1})	0,0	**143,1**	425,0	105,3	0,0	**70,8**	399,0	88,9
Ölü örtü kalınlığı (cm)	0,5	**2,7**	8,0	1,5	0,0	**3,1**	7,0	2,3
Diri örtü yüksekliği (cm)	0,0	**36,8**	150,0	30,5	1,0	**32,8**	100,0	26,1
Diri örtü örtme derecesi (%)	0,0	**35,0**	95,0	23,0	3,0	**43,1**	80,0	21,7

* APP: Amenajman Plan Programı verisi.
** Olur PB'ndeki plan yenileme çalışmalarında yaş ölçülmediği için bu satırlar boş bırakılmıştır.
*** G: Meşcere göğüs yüzeyi.

Envanter esnasında Veliköy ormanlarında özellikle Ladin türünde yer yer dikili kuru ağaçlara rastlanmıştır. Hektarda ort. 10,5 adet olan dikili kuru miktarı, değişikyaşlı seçme kuruluşların da yer aldığı bir orman için normal karşılanmalıdır. Ancak bu miktarın Karagöl−Sahara MP sınırları içerisinde arttığı görülmüştür. Hem Veliköy PB hem de Karagöl−Sahara MP'ndaki kurumaların kabuk böceği kaynaklı zararlardan meydana geldiği anlaşılmaktadır. Diğer taraftan ormanda hektarda ort. 25 adet devrik ve daha az miktarda yaslı ağaçlar bulunmaktadır.

Son olarak Veliköy PB'nde damgasız ve yaklaşık 0,50 m yükseklikten amatörce kesilmiş dip kütükler de görülmüştür. Hektarda ortalama 143 adet olan ve bazı meşcerelerde 400 adete kadar çıkabilen dip kütük sayısı bölgedeki kaçak kesimin bir göstergesidir. Bunların çoğunun Ladin bireyleri olduğu teşhis edilerek envanter karnelerine çap sınıflarıyla beraber not edilmiştir. Ancak kaçak kesimlerin büyük kısmı son yıllara ait olmayıp kütükleri çürümüş ya da çürümeye yüz tutmuştur. Dolayısıyla bölgedeki kaçakçılık faaliyetlerinin yaklaşık 5−10 yıl önce gerçekleştiği ve günümüzde azaldığı tahmin edilmektedir. Bu azalışta özellikle gençlerin son dönemde dışarı göç etmesi sonucunda yörede genellikle yaşlı nüfusun kalması (OGM, 2013), halkın kullanım alışkanlıklarının değişmesi ve orman teşkilatının koruma faaliyetlerine daha fazla önem vermesi rol oynamış olabilir.

Olur Planlama Birimi'nde; orman ekosistemine düşen örnek alanlarda ölçülen meşcere parametreleri karşılaştırma kolaylığı açısından Veliköy PB ile aynı tabloda gösterilmiştir (Tablo 20). Olur ormanlarının Veliköy PB'nden biraz daha yaşlı (ort. V. yaş sınıfında) olduğu tespit edilmiştir. Özellikle koruma fonksiyonlu ormanlarda VIII. yaş sınıfına kadar çıkabilen saf Sarıçam meşcereleri geçmiş periyotlarda planlama birimindeki gençleştirme faaliyetlerinin aksadığını işaret etmektedir. Genellikle orta (2) kapalılıktaki meşcerelere sahip olan Olur PB'nin göğüs yüzeyi ort. 19,1 m^2 ha^{-1}, ağaç serveti ise ort. 162,4 m^3 ha^{-1}'dır. Bu değerlerin Veliköy PB'ndekilerden oldukça düşük olması Olur'un yetişme ortamı özelliklerinin Veliköy'den oldukça farklı bir yapıda olmasıyla ilişkilendirilmiştir. Nitekim, Duman (2017)'ın çalışmasında, Çoruh Havzası Erinç'in iklim kuşaklarına göre sınıflandırılmış ve Olur yarıkurak kuşakta kalırken, Veliköy'ün yarınemli kuşakta yer aldığı tespit edilmiştir. Aynı çalışmaya göre Olur özellikle yaz aylarında ciddi su noksanlığı çekmekte ve bu durum bitki örtüsünün gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca sahadaki ökseotu zararı, yüksek taşlılık vd. olumsuz çevresel faktörlerin de Olur'un yetişme ortamı verim gücünü sınırladığı görülmüştür. Benzer şekilde meşcerelerdeki hakim ağaç türünün yıllık cari çap artımı ort. 2,8 mm olup, bu değer de Veliköy PB ortalamasının altında kalmaktadır. Bunun muhtemel nedenleri; ağaç türü farklılığı, yetişme ortamı verim gücünün düşük oluşu ve özellikle alçak rakımlarda gözlenen ciddi ökseotu zararı olabilir. Son yıllarda yapılmış diğer araştırmalar da ökseotunun bölgedeki Sarıçam türü üzerinde ciddi zararlara neden olduğunu bildirmişlerdir. Örneğin; Sönmez (2014)

Erzurum'un Uzundere ilçesindeki Sarıçam meşcerelerinde yaptığı çalışmada ökseotunun çap ve boy gelişimini sırasıyla %40 ve %47 oranlarında azalttığını bildirmiştir. Bilgili ve ark. (2018)'nın daha yakın zamanda yaptıkları çalışmada ise ökseotunun Sarıçama bulaşma seviyesine göre çap artımında %41 ile %67 arasında kayba neden olduğu belirtilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen orman envanteri esnasında, ormanların alansal olarak yaklaşık %20'sine ciddi derecede ökseotu bulaştığı tespit edilmiştir. Ökseotu zararının özellikle optimum yayılış alanından uzaklaşmış ve zayıf kalmış meşcerelerde ciddi kurumalara yol açtığı görülmüştür. Planlama Birimi genelindeki Sarıçam meşcerelerinin %10'a yakını ökseotu zararı yüzünden gruplar halinde kurumuştur. Bu nedenle Olur ormanlarında hektardaki dikili kuru ağaç sayısı ort. olarak 20'nin üzerinde bulunmuştur ki bu miktar Veliköy'dekinin yaklaşık iki katıdır. Gözlemlerimiz ökseotunun Olur PB'nin nispeten alçak rakımlarında (1500−1700 m) kalan ince ağaçlık (b) çağındaki Sarıçam bireylerini kuruttuğu yönündedir. Rakım yükseldikçe, artan yağış miktarıyla beraber ökseotu yayılışının kademeli olarak azaldığı görülmüş ve yüksek rakımlardaki (>1800 m) ormanlarda hiç ökseotuna rastlanmamıştır.

Olur ormanlarının meşcere üst ve orta boyu ort. 11,7 m'dir. Üst boyun orta boyla aynı değerde çıkmasının nedeni; bazı örnek alanlarda yalnızca orta boyun ölçülmesinden kaynaklanmaktadır. Diğer bir ifadeyle, üst boy ve orta boy ölçümleri yapılan örnek alanların n sayıları birbirinden farklıdır. Ancak ölçülen boy verileri ayrı ayrı değerlendirildiğinde genellikle üst boyun orta boydan yaklaşık %20 daha uzun olduğu hesaplanmıştır. Ölü örtü kalınlığı ise ort. 3,1 cm'dir. Olur'un Veliköy'e göre daha zayıf orman yapısına sahip olmasına rağmen ölü örtü kalınlığının daha fazla olması, saf meşcerelerle ilişkilendirilmiştir. Nitekim, ilgili literatürde saf ormanlardaki ölü örtü tabakasının karışık ormanlara göre daha yavaş çürüdüğü sonucuna ulaşılmıştır (Sarıyıldız ve ark., 2005; Berg ve Laskowski, 2006; Sarıyıldız ve Küçük, 2008). Hızlı bir şekilde ayrışarak toprağa karışamayan bu tabaka ağaçlardan düşen cansız materyalle zaman içerisinde birikerek kalınlığını arttırmaktadır. Olur ormanlarındaki devrik ve dip kütük ortalamaları ise sırasıyla 14 ve 70 ad ha^{-1}'dır. Bu değerlerin Veliköy'dekinden daha düşük çıkması Olur'da kaçakçılığın ve kar/fırtına zararının daha az olduğunu göstermektedir. Ayrıca Sarıçam türünün Ladine nazaran olumsuz doğa olaylarına daha dirençli olması da, bu olayda rol oynamış olabilir. Veliköy

PB'ndekine benzer şekilde, Olur'daki kaçak kesimlerin büyük kısmı da, son yıllara ait olmayıp, ormandaki dip kütükler çürümüş ya da çürümeye yüz tutmuştur. Dolayısıyla, bölgedeki kaçakçılık faaliyetlerinin son yıllarda azaldığı söylenebilir.

Genel bir değerlendirme yapılırsa; Veliköy ve Olur PB'ndeki orman yapılarının birbirlerinden oldukça farklı olduğu söylenebilir. Orman planlama açısından en önemli farklılık, orman formu ve amenajman metotlarında görülmektedir. Veliköy PB'nde Göknarın saf veya hakim tür olduğu seçme kuruluşlar çap sınıfları metodu ile işletilirken; Olur PB'nin tüm orman varlığını oluşturan aynı yaşlı maktalı meşcerelerde yaş sınıfları metodu uygulanmaktadır. Bunun dışında Veliköy'ün ormanları Olur'a göre daha güçlü, sağlıklı ve ağaç türü çeşitliliği açısından çok daha zengindir. Aradaki bu farklılıklar Veliköy PB'nde birçok orman fonksiyonunun (orman ürünleri üretimi, erozyonu önleme, iklim koruma, estetik, ekoturizm vd.) Olur PB'ne göre daha üst düzeyde ve sürdürülebilir bir şekilde sağlandığına işaret etmektedir. Bu durum çalışma alanları ziyaret edildiğinde de kolaylıkla göze çarpmaktadır (Şekil 33).



Şekil 33. Çalışma sahalarına ait meşcere yapıları: Veliköy PB Lbc1 meşceresi (a) ve Olur PB BArDy-T meşceresi (b)

3.1.2. Toprak Özellikleri

Veliköy ve Olur Planlama Birimleri'ndeki örnek alanlardan toplanan 189 toprak örneğinin analiz sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 21'de, tüm değerler ise Ek-5 ve Ek-6'da gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre Veliköy PB topraklarının ortalama kum, kil ve toz oranları sırasıyla %62,8, %10,0 ve %27,2 iken; Olur PB'ninkiler %62,0, %13,5 ve %24,5'tir. Dolayısıyla her iki PB'nin de toprak tekstür sınıfı genel olarak **kumlu balçık** olarak bulunmuştur. Toprak organik maddesiyle (OM) ilgili sonuçlar incelendiğinde ise; Veliköy ve Olur PB topraklarının ort. OM içeriklerinin sırasıyla %7,0 ve %5,8 olduğu belirlenmiştir. Yilmaz ve ark. (2015) tarafından Trabzon'daki Galyan−Atasu Baraj Havzası'nda yapılan çalışmada bulunan OM içerikleri bu çalışmanınkilerden biraz daha düşüktür. Araştırmacılar yapraklı orman, ibreli orman, ziraat ve meralardan örnekleme yapmışlar ve OM içeriklerinin %4,83–%6,52 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Bu tez çalışmasındaki örneklemelerin yaklaşık ¾'ünün verimli orman arazilerinde yapıldığı ve Veliköy'ün güçlü orman yapısı düşünüldüğünde OM içeriğinin literatürden yüksek çıkması doğal karşılanmalıdır. Veliköy PB OM içeriğinin Olur PB'nden daha yüksek çıkması ise; Veliköy orman varlığının bir kısmının değişikyaşlı seçme meşcerelerden oluşması ve Veliköy'ün yarınemli iklim kuşağında yer almasıyla (Duman, 2017; Dinc ve ark., 2018) ilişkilendirilmiştir.

Tablo 21. Örnek alanlardan toplanan toprak özelliklerine ilişkin bulgular

Toprak özellikleri	Veliköy Planlama Birimi				Olur Planlama Birimi			
	Min.	**Ort.**	Maks.	S	Min.	**Ort.**	Maks.	S
Kum oranı (%)	39,2	**62,8**	84,5	10,7	38,4	**62,0**	84,4	9,8
Kil oranı (%)	1,0	**10,0**	26,9	6,5	3,6	**13,5**	31,7	6,4
Toz oranı (%)	12,4	**27,2**	44,8	7,3	11,9	**24,5**	40,8	5,9
OM içeriği (%)	0,8	**7,0**	10,8	2,1	0,6	**5,8**	10,0	2,4
K-faktörü	0,034	**0,044**	0,058	0,005	0,032	**0,040**	0,048	0,004

Erozyonla toprak kaybının tahmini ve haritalanması için gerekli olan K-faktör (toprak aşınımı) değerleri Veliköy ve Olur PB'leri için sırasıyla 0,044 ve 0,040 t ha s ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1} olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre her iki PB'nin de toprak aşınabilirlikleri birbirine çok yakın olup, Olur'un topraklarının erozyona karşı Veliköy'e göre biraz daha dirençli olduğu görülmüştür. Olur'un OM değerinin daha düşük olmasına rağmen

topraklarının daha zor aşınması, topraktaki toz içeriğinin bu konuda rol oynadığını göstermiştir. Nitekim Wischmeier ve Smith (1978)'e göre topraktaki toz oranı düştükçe erozyona karşı direnç genellikle artmaktadır. Olur PB'ndeki toz oranının Veliköy'den biraz daha düşük oluşu (Tablo 21) K-faktörünün de düşmesine neden olmuştur yorumu yapılabilir.

Veliköy ve Olur PB'lerinin toprak özellikleri literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında genelde uyumluluk gözlenmektedir. Örneğin; Duman (2017)'ın yapmış olduğu kapsamlı çalışmada Veliköy PB'nin de içinde bulunduğu Çoruh Havzası yarınemli iklim kuşaklarında bulunan kum, kil, toz, OM ve K-faktörü değerleri bozuk orman için sırasıyla; %69,3, %11,2, %22,9, %2,67 ve 0,048 t ha s ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}'dir. Aynı toprak özellikleri mera alanlarında ise; %67,4, %11,3, %21,3, %3,67 ve 0,049 t ha s ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1} bulunmuştur. Tablo 21 ile karşılaştırıldığında görülebileceği gibi, yalnızca OM içerikleri arasında ciddi farklılık olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu farklılığın nedeni; Tablo 21'de tüm AKAÖ tiplerinden alınan toprak örneklerine ait değerlerin sunulmasıdır. Daha önce belirtildiği gibi Veliköy'deki örnek alanların büyük kısmı verimli ormanlardan oluştuğu için OM ortalamaları da Tablo 21'de yüksek çıkmıştır. Oysa Veliköy PB'nde bozuk ormanlardan ve meralardan alınan toprak örneklerinin ort. OM içerikleri sırasıyla; %3,2 ve %3,8'dir. Diğer bir ifadeyle, Veliköy PB toprak OM içerikleri AKAÖ itibariyle analiz edildiğinde Duman (2017)'ın çalışmasıyla aralarında bir uyumsuzluk kalmamaktadır. Aynı çalışmada, Olur PB'nin de içinde bulunduğu yarıkurak iklim kuşağında bulunan kum, kil, toz, OM ve K-faktörü değerleri ise bozuk orman için sırasıyla; %66,7, %13,2, %20,1, %2,24 ve 0,050 t ha s ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1} olarak bulunmuştur. Aynı toprak özellikleri mera alanlarında ise; %61,8, %13,5, %24,7, %2,90 ve 0,052 t ha s ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1} bulunmuştur. Olur PB'nden toplanan toprak örneklerinin OM içerikleri ise AKAÖ tipleri itibariyle bozuk orman ve mera için sırasıyla; %2,8 ve %3,8'dir. Duman (2017)'ın toprak OM içeriklerine ilişkin bulgularının bu çalışmadan daha düşük değerlerde çıkması; araştırmacının ÇNHRP kapsamında aldığı örneklerin birçoğunun toprak koruma ve rehabilitasyon faaliyetleri gerektiren aktüel erozyon sahaları olmasıyla ilişkilendirilmiştir. Bu sahalarda OM'ce zengin verimli üst toprak yerinden taşınarak verimsiz hale geldiği için, OM içeriğinin düşük çıktığı düşünülmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmada toprak özellikleriyle ilgili elde edilen sonuçlar genel ekoloji yasaları ve bölgede yapılan diğer çalışmalarla uyum içerisindedir.

3.1.3. Çevresel Faktörler

Çevresel faktörlerden eğim, bakı, yamaç uzunluğu, yüzey pürüzlülüğü ve rakım değerlendirmeye alınmıştır. Çalışma alanlarının eğim değerleri incelendiğinde; Veliköy PB'nden alınan örnek alanların, Olur PB'ninkilere göre daha eğimli olduğu görülmektedir (Tablo 22). Bunun nedeni; Veliköy PB'ndeki meşcere tipi sayısının Olur PB'nden çok daha fazla olması, dolayısıyla orman AKAÖ tipine ait daha fazla örnek alan bulunmasıdır. Ülkemizde genellikle dağlık arazilerin yüksek eğimli yamaçlarında bulunan ormanlara ait örnek alanlar, Veliköy'ün Tablo 22'deki ort. eğim değerini arttırmıştır. Yoksa Veliköy ve Olur'un PB sınırı dahilinde kalan arazilerin genel eğim ortalamaları birbirine çok yakındır. Bu noktada dikkat çeken bir başka husus ise; her iki çalışma alanında da arazide ölçülen eğim değerlerinin SYM üzerinden CBS'de analiz edilen alan ağırlıklı eğim değerlerine nazaran yaklaşık %10 oranında daha yüksek çıkmasıdır. Sistematik olduğu saptanan bu hata kaynağının insan kaynaklı olduğu değerlendirilmiştir. Buna ilaveten, RUSLE'nin yamaç uzunluğu ve eğim (LS) faktörü haritaları da CBS ortamında üretildiğinden çalışmanın bundan sonraki kısımlarında tutarlılık açısından arazide ölçülen eğim değerleri yerine CBS ile hesaplanan değerlerin kullanılmasına karar verilmiştir.

Tablo 22. Örnek alanlarda ölçülen çevresel faktörlere ilişkin bulgular

Çevresel faktörler	Veliköy Planlama Birimi				Olur Planlama Birimi			
	Min.	**Ort.**	Maks.	S	Min.	**Ort.**	Maks.	S
Yüzey taşlılığı (%)	0,0	**12,7**	80,0	14,1	0,0	**20,0**	95,0	24,6
Yamaç uzunluğu (m)	20,0	**203,9**	590,0	139,2	22,0	**171,0**	1300,0	212,9
Eğim (arazi) (%)	0,0	**45,8**	110,0	31,8	0,0	**36,9**	100,0	29,6
Eğim (CBS) (%)	8,0	**40,3**	104,0	18,7	0,0	**34,1**	94,0	24,4
Rakım (m)	1149,0	**1765,9**	2280,0	281,8	776,0	**1721,5**	2446,0	412,6
Pürüzlülük (birimsiz)	0,0	**3,76**	21,0	3,10	0,0	**5,93**	30,0	5,41

Yüzey taşlılık oranları karşılaştırıldığında; Olur PB'ndeki örnek alanların yüzey taşlılığı ort. %20 olup, bu değer Veliköy PB'nin neredeyse iki katıdır (Tablo 22). Bu durum Olur PB'ndeki toprak derinliğinin az olmasına işaret etmekte ve bitki

büyümesini sınırlamaktadır. Diğer taraftan, özellikle son yıllarda yüzey taşlılığının yağmur damlalarının toprağı yıpratıcı etkisini azaltmadaki olumlu rolü üzerine de bir takım çalışmalar yapılmakta ve bu faktör de erozyon modellemelerine dahil edilmeye çalışılmaktadır (Panagos ve ark., 2014). Dolayısıyla yüzey taşlılığının erozyon üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkileri olduğu söylenebilir.

Veliköy PB'ndeki örnek alanların yamaç uzunluklarının, Olur PB'ndekilerden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Uzun ve kesintisiz yamaçlar normal şartlar altında özellikle yağışlı dönemlerde yamaç boyunca gerçekleşen yüzeysel akışın hızını ve erozyon riskini arttırmaktadır. Ancak söz konusu yamaçlar Veliköy'de genellikle yoğun bitki örtüsüyle kaplı bulundukları için burada gerçekleşmesi muhtemel az miktardaki yüzeysel akışın ağaç kütükleri, bitki kökleri, ölü örtü vb. engellerle kesintiye uğrayacağı ve yüzey ya da oluk erozyonu riskine yol açmayacağı değerlendirilmiştir.

Yüzey pürüzlülük katsayısı ortalamaları beklenildiği gibi, Olur PB'nde Veliköy'e göre daha yüksektir. Bunun nedeni; Olur'un kırıklı arazi yapısı ve havzada geçmişten beri süregelen marjinal jeomorfolojik oluşumlardır (Şekil 34). Bunlara ilaveten; Olur'da görülen yüksek taşlılık da pürüzlülüğün artması yönünde rol oynamıştır (Tablo 22). Çünkü toprak yüzeyinde bulunan taş ve kayalar arazide zincirle pürüzlülük ölçümleri sırasında mikro düzeyde kırıntılar yaratarak yüzey pürüzlülüğünü arttırma eğilimi göstermiştirler. Esasında bu taşların arazi engebesi yaratarak yüzeysel akışı azaltıcı etkileri de bulunmaktadır. Dolayısıyla Olur'daki yüzeysel akış hızının yüksek pürüzlülük ve taşlılık nedeniyle azalacağı ve yüzey ya da oluk erozyonu riskinin nispeten düşeceği tahmin edilmektedir.

Son olarak çalışma alanlarının bakı durumları karşılaştırıldığında; Olur PB'nin %55'nin, Veliköy PB'nin ise %41'nin gölgeli bakıya sahip olduğu belirlenmiştir. Türkiye'nin bulunduğu coğrafi konumda kuzey, kuzeybatı, kuzeydoğu ve doğu batılar gölgeli; güney, güneybatı, güneydoğu ve batı bakılar ise güneşli bakı olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla her iki PB de bakı açısından birbirine yakın özellikler sergilemektedirler.



Şekil 34. Olur Planlama Birimi'nde gözlenen doğal jeomorfolojik oluşumlar

Genel olarak değerlendirildiğinde; Veliköy ve Olur PB'lerinin ortalama değerleri arasında eğim, rakım, bakı ve yamaç uzunluğu faktörleri açısından göreceli olarak pek farklılık yoktur. Ancak, özellikle yüzey taşlılığı ve yüzey pürüzlülüğü yönünden Olur PB'ne ait ortalamalar Veliköy'ünkinden yaklaşık %60 daha yüksektir. Daha önce tartışıldığı gibi, bu durumun Olur PB üzerine hem olumlu ve hem de olumsuz yansımaları mevcuttur.

3.2. Toprak Erozyonuna İlişkin Bulgular

3.2.1. Sahadaki Potansiyel Erozyon

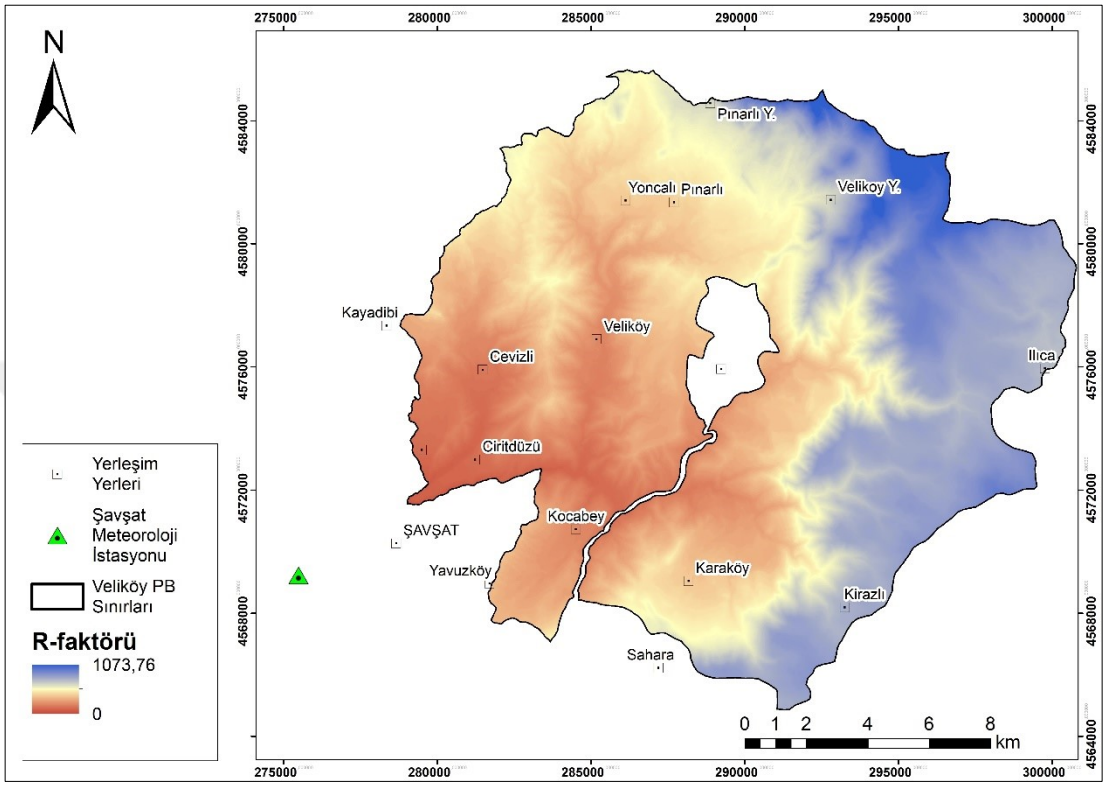
Yöntem bölümünde ayrıntılı olarak açıklandığı gibi, sahadaki potansiyel erozyon RUSLE modeliyle tahmin edilmiştir. RUSLE'nin faktör haritaları, havzaların sediment verimleri, yıllık potansiyel toprak kayıpları ve erozyon riskinin alansal dağılışına ait sonuçlar 3.2.1.1−3.2.1.8 numaralı bölümlerde ayrı ayrı sunulmuştur.

3.2.1.1. Yağmur Erozivite ve Yüzeysel Akış (R) Faktörü

Veliköy Planlama Birimi için üretilen R-faktör haritası Şekil 35'te gösterilmektedir. Haritaya göre; R-faktör değerlerinin çalışma alanı içerisinde heterojen bir şekilde dağıldığı, ancak genellikle kuzey ve doğu yönlerinde (mavi renkli) artış trendi gösterdiği görülmektedir. Gürcistan ile sınırımızı teşkil eden kuzeydoğu bölgesinde R-faktörünün artması rakımdaki yükselmeyle ilişkilidir. Nitekim rakımdaki her 100 m'lik artış yağış miktarını da 54 mm kadar arttırmaktadır (Erinç, 1996; Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016). Dolayısıyla 1125 m rakımda bulunan istasyonda 633 mm olan yıllık ort. yağış miktarı 3160 m rakımdaki zirvede 1600 mm'nin üzerine çıkabilmektedir. Bu durum özellikle yüksek kesimlerdeki yüzeysel akışı arttırarak yağmurun eroziv etkisinin yükselmesine neden olmaktadır. ArcGIS'te yapılan zonal istatistik sonucunda ortaya çıkan tanımlayıcı R-faktör istatistikleri Tablo 23'te gösterilmiştir. Tabloya göre Veliköy'ün ort. R-faktör değeri 497,2 MJ mm ha^{-1} s^{-1} $yıl^{-1}$'dır. Diğer taraftan Veliköy R-faktör haritasında kullanılan Şavşat Meteoroloji İstasyonunun çalışma alanı sınırlarının yaklaşık 4 km dışında kaldığı görülmektedir (Şekil 35). Planlama Birimi dahilinde başka bir istasyon bulunmadığı için Veliköy'e en yakın istasyon olan Şavşat Meteoroloji İstasyonunun verileri kullanılmıştır.

Veliköy PB'nin R-faktör haritası bölgedeki diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında konumsal desenlerin benzer olduğu fakat ort. R-faktörü değerinin literatürdeki değerlerden biraz daha düşük olduğu görülmüştür. Örneğin; Tufekcioglu ve ark. (2018)'nın Veliköy Mikrohavzası'nda yaptıkları çalışmada ort. R-faktör değeri 768 MJ mm ha^{-1} s^{-1} $yıl^{-1}$ olarak bulunmuştur. Bu değer, bu tez çalışmasındaki R-faktör değerinden yaklaşık yarım kat daha yüksektir. Aradaki fark üç nedenden kaynaklı olabilir. Bunlardan birincisi; hesaplamada kullanılan formüllerin farklı oluşudur. Nitekim, araştırmacılar yağmurun aşındırıcı gücünü hesaplarken Modifiye edilmiş Fournier indisini (MFI) kullanmışlardır. İkinci neden; araştırmacıların kullandığı iklim verilerinin periyodu bu çalışmadakinden farklıdır. Söz konusu çalışmada 1996 yılına kadar olan aylık ve yıllık yağış verisi kullanılmıştır. Bu çalışmada ise yağış verisi 2018 yılına kadar güncellenmiştir. Özellikle küresel iklim değişikliği kaynaklı etkiler son yıllarda (1996−2018) bölgedeki yıllık ortalama yağış miktarlarını azaltıcı yönde rol oynamıştır (MGM, 2019). Üçüncü ve son neden ise çalışma alanlarının konumsal

olarak birebir örtüşmüyor oluşudur. Söz konusu çalışma Veliköy Mikrohavza sınırları dahilinde iken, bu çalışma orman işletme şefliği sınırlarını esas almıştır. CBS'de yapılan konumsal analizlere göre iki alanın örtüşme oranı yaklaşık %70'tir.



Şekil 35. Veliköy Planlama Birimi'ne ait R-faktörü haritası

Tablo 23. Veliköy ve Olur Planlama Birimleri'ne ait R-faktörü değerleri

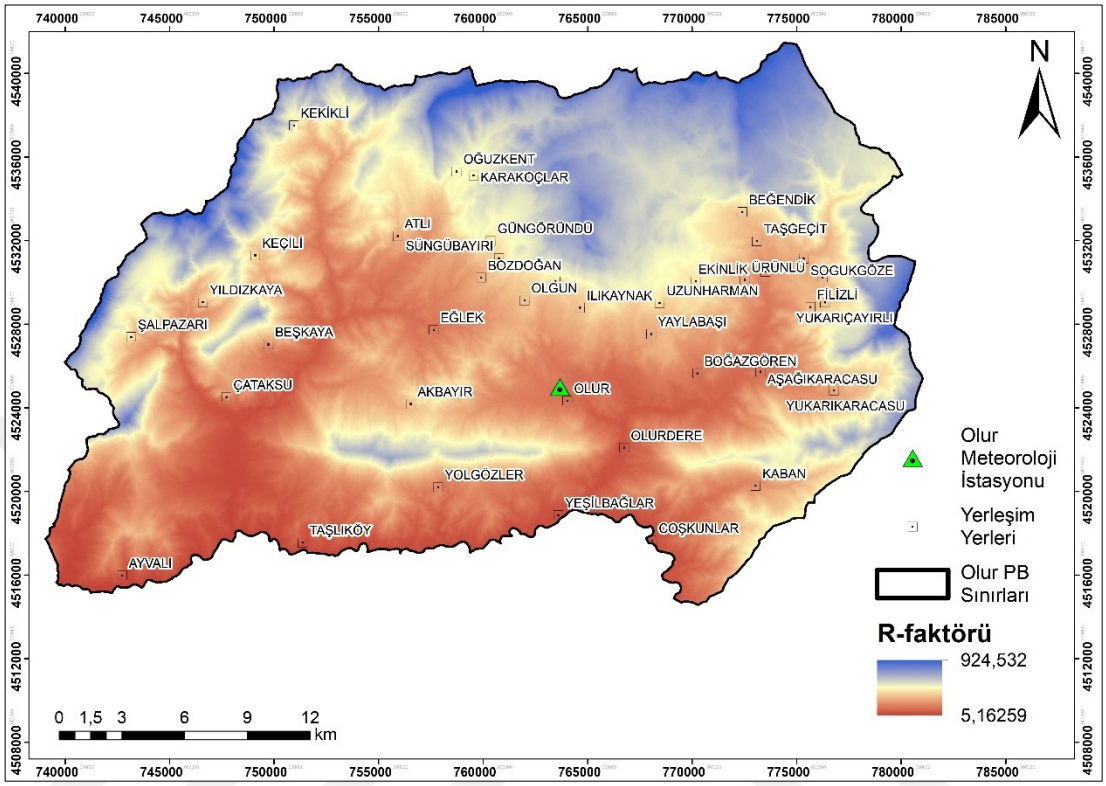
Çalışma alanı	R-faktör (MJ mm ha^{-1} s^{-1} $yıl^{-1}$)				Diğer bilgiler			
	Min.	Ort.	Maks.	S	Yıllık ort. yağış (mm)	Ort. rakım (m)	İstasyon adı	İstasyonun rakımı (m)
Veliköy PB	130,5	**497,2**	1052,0	195,8	633,0	1983,0	Şavşat	1125,0
Olur PB	6,9	**324,0**	924,5	192,4	430,0	1827,0	Olur	1395,0

Olur Planlama Birimi R-faktör haritası Şekil 36'da gösterilmiştir. Haritaya göre R-faktör değerinin kuzeye doğru yükselme trendi hemen fark edilmektedir. Havzanın güneyde bulunan mansabından kuzeydeki menbaya doğru çıkıldıkça yağış miktarları da doğal olarak artmaktadır. Ayrıca doğu−batı yönünde uzanan iki dağ boyunca da (mavi renkli) yüksek R-faktör değerleri görülmektedir. Bu durum dağların oldukça keskin olan sırtlarına doğru ani yükselen rakımla doğrudan ilişkilidir. Olur'un ort. R-

faktör değeri 324 MJ mm ha^{-1} s^{-1} $yıl^{-1}$ olup Veliköy'ünkinden oldukça düşüktür (Tablo 23). Bunun nedeni Olur'un yarıkurak iklim kuşağında kalması (Duman, 2017) dolayısıyla düşük yağış almasıdır. Nitekim çalışma alanının içinde bulunan Olur Meteoroloji İstasyonunun yıllık ort. yağış miktarı 430 mm'dir (Şavşat OMGİ: 633 mm). Tabloda dikkat çeken diğer bir husus ise, iki çalışma alanının minimum R değerlerindeki farklılıktır. Olur'un meteoroloji istasyonu verisine göre özellikle Ocak ve Şubat aylarındaki çok düşük yağış miktarları (uzun yıllar ortalaması sırasıyla 17,3 ve 15,7 mm), min. R-faktörünü neredeyse sıfırlamakta ve dolayısıyla ortalamayı ciddi anlamda düşürmektedir.

Karşılaştırma amacıyla bölgedeki diğer çalışmalar incelendiğinde, son yıllarda yapılan iki farklı çalışmaya rastlanmıştır. Bunlardan ilki Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü'nün 2018 sonunda tamamladığı Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi (DEMİS) projesi çıktılarıdır (ÇEM, 2018). Söz konusu çalışma ulusal ölçekte olduğu için çözünürlük açısından doğrudan karşılaştırma yapılamamakla beraber Olur PB'nin bulunduğu havzanın DEMİS projesinin haritasında 2 farklı R-faktör sınıfına girdiği ve R-faktöründe kuzeye doğru bir artış trendi olduğu gözlenmiştir. Söz konusu sınıfların R-faktör ortalamaları 693 ve 1127 MJ mm ha^{-1} s^{-1} $yıl^{-1}$'dır. Dolayısıyla bu çalışmada bulunan ort. R-faktör değerinden yaklaşık 2−4 kat daha fazladır. Bunun 2 farklı nedeni olabilir. Birincisi, DEMİS projesinin R-faktör hesaplama yaklaşımı farklıdır: Yağışın kinetik enerjisi bulunurken yağmurun 30 dakikalık en yüksek şiddeti (I_{30}) de dikkate alınmıştır (ÇEM, 2018). Ancak Şavşat ve Olur Meteoroloji İstasyonlarında geçmişe dönük olarak böyle bir veri ölçümü yapılmadığı için bizim çalışmamızda I_{30} değerleri dikkate alınmamıştır. İkinci neden ise kullanılan meteoroloji istasyonlarının sayısıyla ilgilidir. Söz konusu çalışma tüm Türkiye'yi kapsadığı için Olur'u çevreleyen tüm istasyon (toplam 329 OMGİ) verilerini kullanarak enterpolasyon yapmıştır (ÇEM, 2018). Bizim çalışmamızda ise, Olur PB içerisinde bulunan tek istasyon verisi (Olur OMGİ) kullanılmıştır. Ancak ulusal ölçekte yapılan çalışmaların bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Örneğin DEMİS projesinde yağış miktarının haritalanmasında yüksek çözünürlüklü SYM kullanılamadığı için havzanın birçok belirgin topografik özelliği modellenememiştir. Örneğin Şekil 36'da çalışma alanının güneyindeki Akdağ'ın sırtına doğru ciddi oranda

yükseldiği görülen R-faktör değerleri DEMİS'in haritasında görülememektedir (ÇEM, 2018).



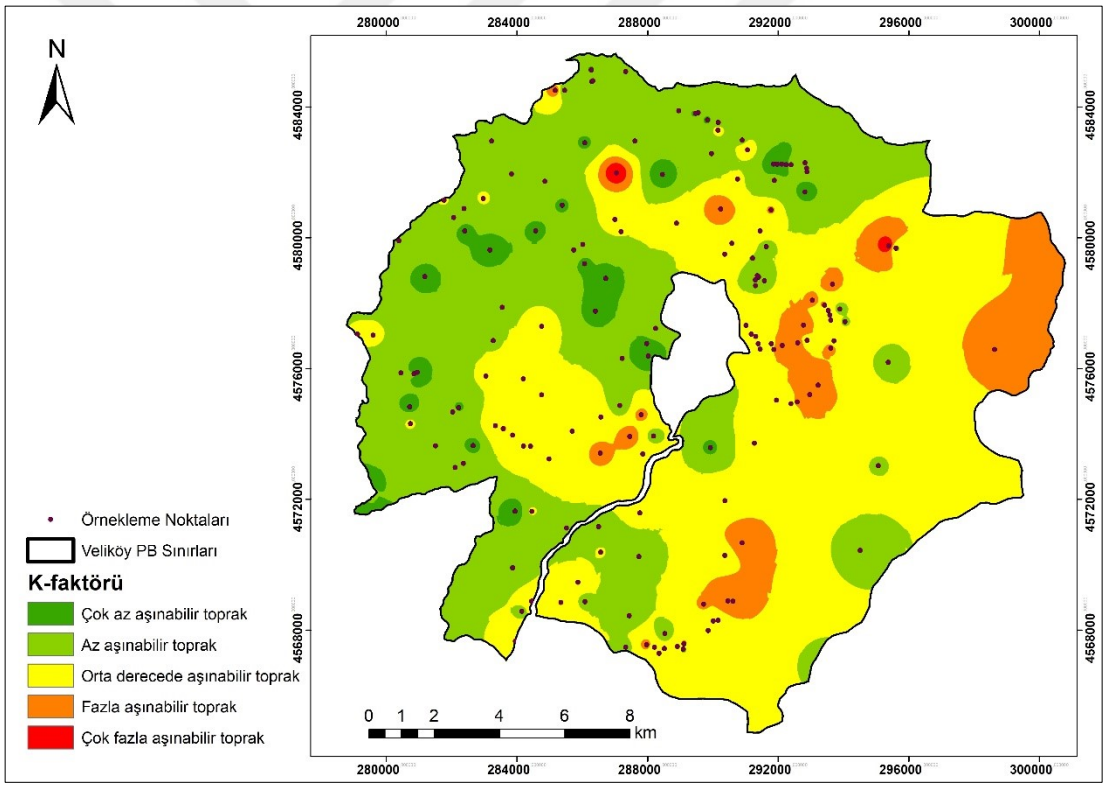
Şekil 36. Olur Planlama Birimi'nin R-faktörü haritası

Bölgede yapılan diğer bir çalışma ise Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesidir (ÇNHRP). Projenin 5. ara raporunda Olur Mikrohavzası için R-faktör yüzeyi oluşturulmuş ve ort. değeri 246 MJ mm ha^{-1} s^{-1} $yıl^{-1}$ olarak bulunmuştur (ÇNHRP, 2015). İki değer arasında önemli bir fark yoktur. Tablo 23'teki ortalamanın biraz daha yüksek oluşunun nedenleri; hesaplamada kullanılan formüllerin farklı oluşu ve çalışma alanı sınırlarının birebir örtüşmemesi olabilir.

3.2.1.2. Toprak Aşınım (K) Faktörü

Veliköy Planlama Birimi için üretilen K-faktör haritası Şekil 37'de sunulmuştur. Harita incelendiğinde planlama biriminin batı kesimlerinde bulunan toprak yapısının zor aşınabilir (yeşil tonlar), doğu kesimlerindekinin ise orta derecede aşınabilir (sarı) olduğu görülmektedir. K-faktör değerlerinin konumsal dağılışındaki bu desen, doğu kesimlerde bulunan mera alanlarının verimli orman alanlarına nazaran daha kolay aşınabilir olduğunu göstermiştir. Çünkü söz konusu sarı ve turuncu kesimler genel

itibariyle mera ve orman içerisine sokulan geniş OT alanlarından oluşmaktadır. Bu durum açık (ağaçsız) arazilerin ormanlık arazilerden daha az toprak OM'si içermesinden kaynaklı olabilir. Nitekim, K-faktör değerini yükselten önemli değişkenlerden biri de OM içeriğidir (Torri ve ark., 1997; Torri ve ark., 2002). Diğer taraftan bazı münferit örnek alanların etrafında K-faktör değerleri 0,05'in üzerine çıkmıştır (Şekil 37, kırmızı tonlar). Lokal olarak görülen bu durumun kil içeriği oldukça düşük olan (%5'in altında) kumlu topraklardan alınan örneklerden kaynaklandığı anlaşılmıştır. CBS ortamında yapılan zonal istatistik sonucunda ortaya çıkan tanımlayıcı istatistikler Tablo 24'te gösterilmiştir. Buna göre Veliköy PB'nin ort. K-faktör değeri 0,0435 t ha s ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1} bulunmuştur. Bu değer Wischmeier ve Smith (1978)'in sınıflandırma sistemine göre orta derecede aşınabilir topraklar grubuna girmektedir.



Şekil 37. Veliköy Planlama Birimi'ne ait K-faktörü haritası

Tufekcioglu ve ark. (2018)'nın Veliköy Mikrohavzası'nda yapmış oldukları erozyon risk değerlendirmesinde bölgenin ortalama ve maksimum K-faktör değerleri sırasıyla 0,040 ve 0,050 t ha s ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1} olarak bulunmuştur. Değerlerin birbirine oldukça yakın olması bu çalışmanın literatürle uyumlu olduğunu göstermektedir.

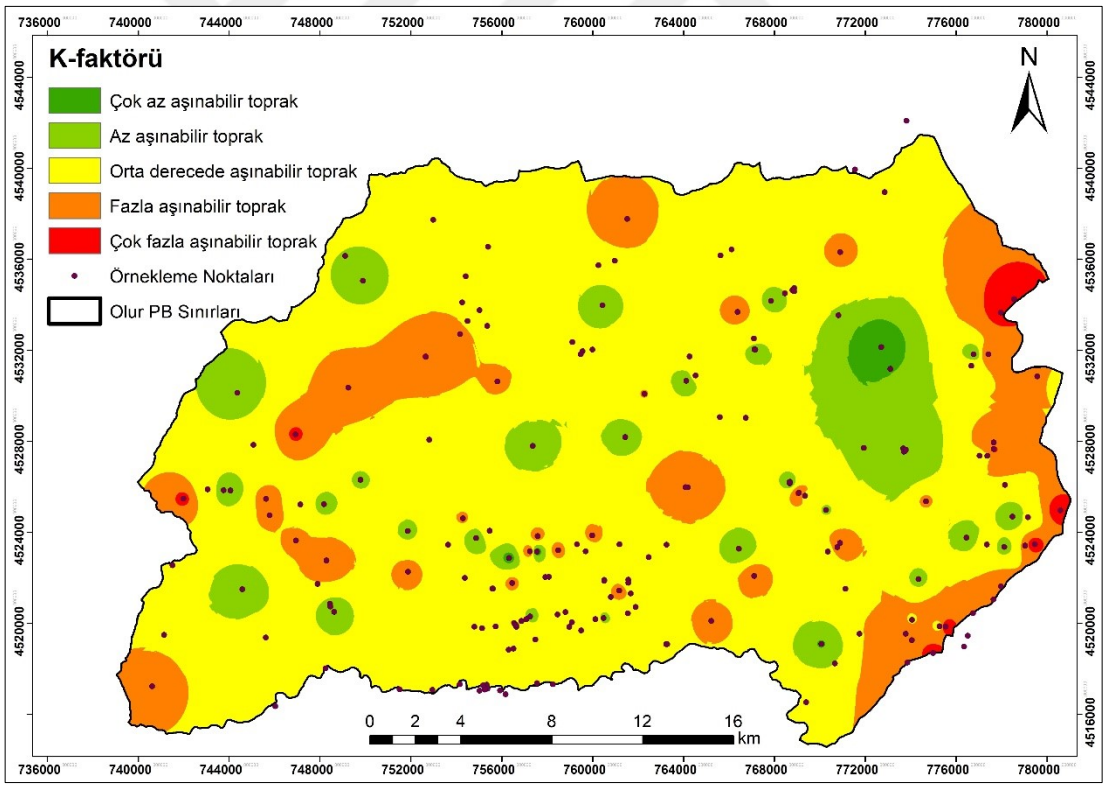
Tablo 24. Veliköy ve Olur Planlama Birimleri'nin K-faktörü değerleri

Çalışma alanı	K-faktörü değerleri (t ha s ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1})			
	Min.	**Ort.**	Maks.	S
Veliköy PB	0,0337	**0,0435**	0,0586	0,0035
Olur PB	0,0315	**0,0398**	0,0479	0,0017

Olur Planlama Birimi K-faktör haritası Şekil 38'de gösterilmektedir. Haritaya göre Olur'un toprakları Veliköy'e nazaran daha homojen ve Wischmeier ve Smith (1978)'in sınıflandırmasına göre orta derecede aşınabilir yapıdadır. Bu homojenlik Olur havzasının büyük bölümünü çıplak arazilerin oluşturması ve düşük miktardaki orman alanlarında yalnızca Sarıçam ağaç türünün bulunmasıyla ilişkilendirilmiştir. Ancak söz konusu arazilerin arasında lokal olarak kolay (turuncu) ya da zor (yeşil) aşınabilir topraklara da rastlanmaktadır (Şekil 38). Toprak tekstürü ve OM'deki ani değişimlerin yol açtığı bu desen, planlama biriminin K-faktör ortalamasını çok etkilememiş ve Veliköy'ünkine oldukça yakın çıkmasına neden olmuştur. Hem örnek alanlardan toplanan toprak örneklerinin noktasal K-faktör değerleri (Tablo 21), hem de haritalardan zonal istatistik yardımıyla çıkartılan alansal değerler (Tablo 24) Olur'un topraklarının toprak aşınımı açısından Veliköy'e oldukça benzer olduğunu göstermiştir. Bunun nedeni; kullanılan formülde permeabilite ve strüktür parameterlerinin dikkate alınmaması olabilir. Ancak bilindiği gibi toprak erozyonuna etki eden tek faktör toprak aşınabilirliği değildir (Renard ve ark., 1997; Erpul ve ark., 2018). Dolayısıyla Veliköy'ün oldukça güçlü olan bitki örtüsünün, topraktaki bu hassasiyeti tolere ederek, erozyonu kontrol altında tutacağı düşünülmektedir. Ayrıca haritalara dikkat edilirse hem Veliköy hem de Olur'da bazı örnek alanlar çalışma alanının hemen dışından alınmıştır. Bunun nedeni enterpolasyon esnasında sınıra yakın alanlara ait piksel değerlerindeki geçişlerin daha yumuşak ve doğru olmasını sağlamak içindir. Sonuç olarak Olur PB'nin ort. K-faktör değeri 0,0398 t ha s ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1} olarak bulunmuştur.

Olur PB'nin K-faktörü haritası ÇEM (2018)'in DEMİS projesi çıktılarıyla görsel olarak karşılaştırıldığında, konumsal desende bazı farklılıklar görülmüştür. DEMİS ulusal ölçekte bir proje olduğundan dolayı Şekil 38'de benekler halinde görülebilen sıcak noktaları (erosion hotspot) göstermemektedir. Bunun nedenlerinden biri

çözünürlükteki farklılık iken, diğeri ve daha önemlisi; bu çalışmada Olur'dan alınan toprak örneklerinin çok daha fazla oluşudur. Nitekim DEMİS projesinde tüm Türkiye için 22000 toprak örneği ile modelleme yapılmışken (ÇEM, 2018), bu çalışmada yalnızca Olur PB için farklı AKAÖ tiplerinden toplam 107 toprak örneği kullanılmıştır. Diğer bir ifadeyle bu çalışmanın örnekleme yoğunluğu DEMİS projesinin yaklaşık 6 katıdır. Bu sayede harita doğruluğu arttırılmış ve "ülkemizde adım başı değişebilen" toprak özellikleri daha iyi temsil edilmiştir. Söz konusu projenin K-faktör haritası sayısal ortamda temin edilemediği için nicel anlamda karşılaştırma yapılamamıştır. Aynı bölgede ÇNHRP kapsamında yapılmış diğer bir çalışmada Olur Mikrohavzası için hesaplanan ortalama K-faktörü değeri 0,04 olup (Yavuz ve Tufekcioglu, 2019) Tablo 24'teki ortalamayla neredeyse aynıdır. Dolayısıyla ilgili literatürle çelişen herhangi bir bulguya rastlanmamıştır.



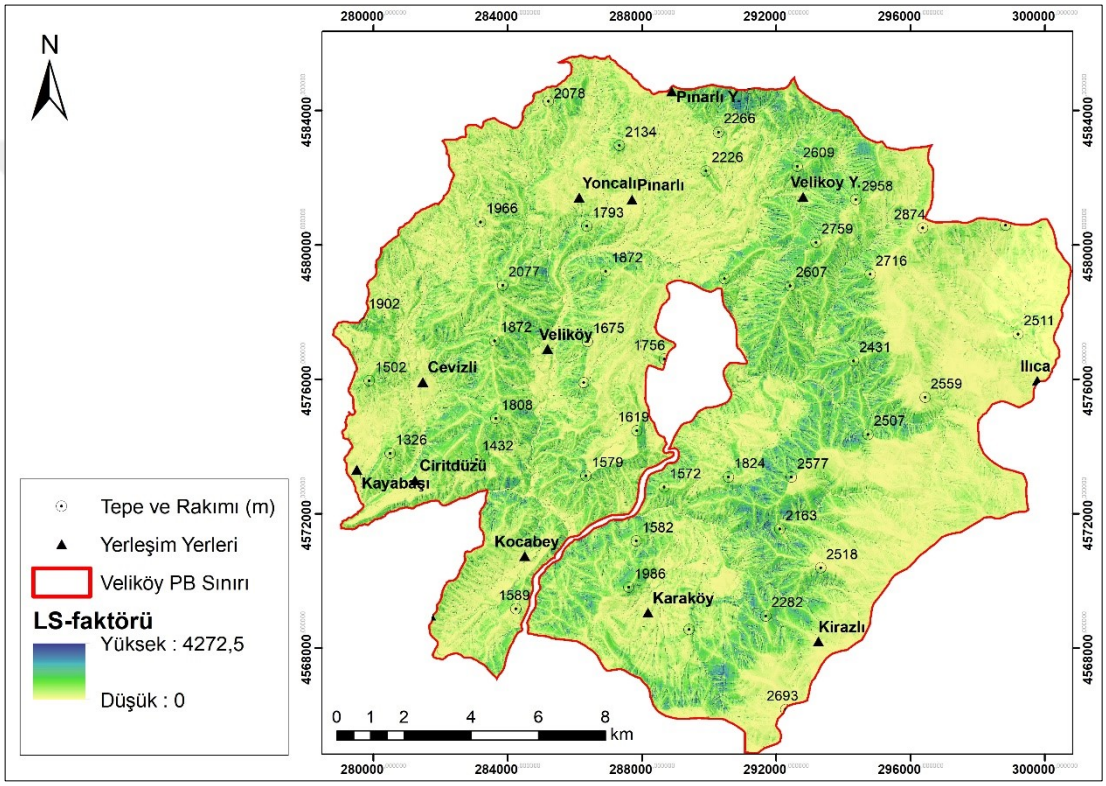
Şekil 38. Olur Planlama Birimi'nin K-faktörü haritası

3.2.1.3. Yamaç Uzunluğu ve Eğim (LS) Faktörü

Veliköy Planlama Birimi için üretilen LS-faktör haritası Şekil 39'da sunulmuştur. Haritadaki sarımsı tonlar düşük LS-faktör değerlerini, yeşil tonlar orta düzeydeki değerleri, mavimsi tonlar ise yüksek değerleri göstermektedir. Buna göre Veliköy'ün batı ve doğu kesimlerindeki arazi yapısının daha düşük eğimli ve nispeten kısa yamaç uzunluklarına sahip olduğu söylenebilir. Özellikle doğu kesimdeki mera alanlarında bu yapı daha da belirginleşmiştir. Nitekim, daha önce çalışma alanının tanıtımı bölümünde verilen eğim haritasından da anlaşılabileceği gibi, söz konusu meralar çalışma alanındaki en düşük eğimli bölgeleri temsil etmektedir. Diğer taraftan yüksek LS-faktör değerlerine sahip kesimler içerisinde çizgisel olarak uzanan sarı renkli kısımlar havzadaki drenaj ağını ifade etmektedir. Uzun yıllar sonunda denge eğimine ulaşmış ya da bu eğime yaklaşmış olan derelerin de düşük LS-faktörüne sahip oldukları görülmüştür.

Şekil 39'da yeşil ve mavi renklerler temsil edilen yüksek LS-faktörlü alanlar ise özellikle orta kesimden meraların bulunduğu doğu kesime doğru olan ani yükseliş zonunda belirginleşmiştir. 2.1.2 numaralı bölümdeki eğim haritasından da anlaşılabileceği gibi bu kesimler çalışma alanının en yüksek eğimli kesimleridir. Benzer şekilde, batı kesimdeki bazı ormanlık alanların yanı sıra en kuzeydeki alpin ve nival zona geçişte bulunan dağ zirvelerinde de LS-faktörü ortalamanın üzerinde çıkmıştır. Veliköy PB'nin ortalama LS-faktör değeri 8,47 olarak bulunmuştur (Tablo 25). Faktör aralığı 0 ile 4272,5 arasında değişmektedir. Tufekcioglu ve ark. (2018)'nın aynı bölgede gerçekleştirdikleri erozyon risk analizi çalışmasında da LS-faktörünün 0 ve 6417 arasında değiştiği ve ortalamasının 9,9 olduğu bildirilmiştir. Aradaki küçük farklar çalışma alanları sınırlarının farklılıklar göstermesiyle ilişkilidir. Nitekim, söz konusu araştırmacılar Veliköy Mikrohavzası sınırları içinde çalışırken, bu çalışmada Veliköy OİŞ sınırları esas alınmıştır. İki alan arasında yaklaşık %70 örtüşme olmasına rağmen özellikle batı ve kuzeydoğu sınırlar birbirinden ayrılmaktadır. Veliköy'e benzer topografik özellikler gösteren yurtdışı çalışmaları da karşılaştırılmıştır. Veliköy PB'nin ortalama eğimi %34'tür. Ortalama eğimi %30,5 olan İtalya'daki Turano havzasında yapılan çalışmada LS-faktör ortalaması 10,05, standart sapması 9,44 olarak bulunmuştur (Borrelli ve ark., 2014). Tang ve ark. (2015) ise Çin'deki Yanguo

havzasındaki LS-faktör ortalamasını 8,016, standart sapmasını 3,629 bulmuştur. Havzanın eğim ortalaması Veliköy'ünkine yakındır. Literatürdeki bu çalışmalar Veliköy PB'nde hesaplanan ortalama LS-faktörü değerinin tutarlı olduğunu, ancak standart sapmanın diğer çalışmalardan daha yüksek bulunduğunu göstermektedir. Standart sapmanın yüksek oluşu, Veliköy'ün arazi yapısındaki ani ve marjinal değişimler sonucunda eğim ve yamaç uzunluğunda ortaya çıkan yüksek varyasyon ile açıklanabilir.



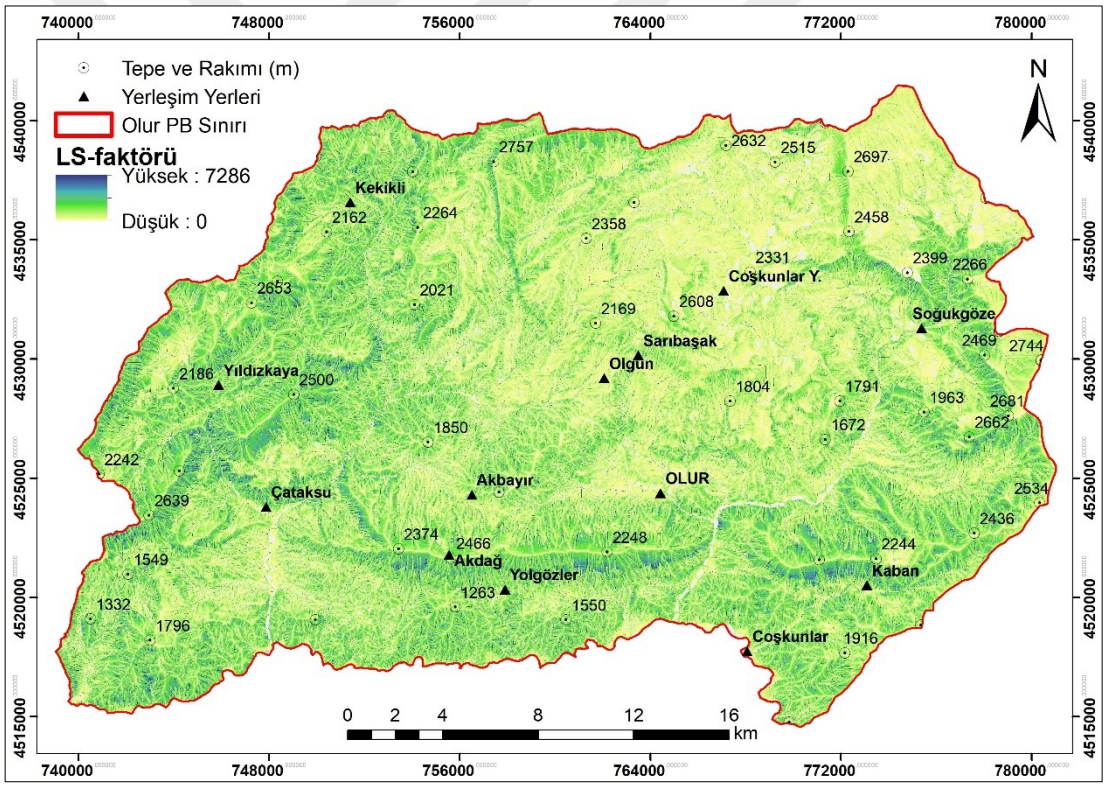
Şekil 39. Veliköy PB yamaç uzunluğu ve eğim (LS) faktörü haritası

Tablo 25. Veliköy ve Olur PB'lerinin LS-faktör değerleri

Çalışma alanı	LS-faktörü değerleri			
	Min.	**Ort.**	Maks.	S
Veliköy PB	0	**8,47**	4272,50	19,12
Olur PB	0	**8,75**	7286,53	19,87

Olur Planlama Birimi için üretilen LS-faktör haritası ise Şekil 40'ta sunulmuştur. Haritada düşük LS-faktör değerlerine sahip olan sarımsı alanların havzanın kuzeydoğusunda toplandığı görülmektedir. Bu alanlar genel itibariyle verimli ya da

verimsiz meralardan oluşmakta olup, düşük eğim derecesine sahiptirler. Mavi ve lacivert renklerle temsil edilen yüksek LS-faktörlü alanlar ise, genellikle Akdağ silsilesinin güney yamaçlarında ve havzanın batısındaki ormanlık arazilerde toplanmıştır. Özellikle Akdağ'ın yamaçları uçurum ve aktif erozyon sahalarından oluşmaktadır. Buradaki derin ve uzun oyuntular arazi çalışmaları sırasında da gözlemlenmiştir. Benzer şekilde havzanın batısında kalan ormanlık araziler de örnek alanlara ulaşımda en çok zorlanılan yerlerdendir. Bu yönüyle LS-faktör haritasının arazi gerçekleriyle uyuştuğu söylenebilir. Yeşilimsi renklerle temsil edilen ortalama düzeylerdeki LS-faktör değerine sahip alanlar ise havza geneline yayılmıştır. Açık sarıdan beyaza doğru uzanan renkler ise düz alanları ve havzadaki ana drenaj ağını temsil etmektedir.



Şekil 40. Olur PB yamaç uzunluğu ve eğim (LS) faktörü haritası

Olur PB'nin ortalama LS-faktör değeri 8,75'tir (Tablo 25). Faktör aralığı 0 ile 7286,53 arasında değişmektedir. Bu değerler Veliköy PB ile karşılaştırıldığında Olur'un LS-faktör ortalamasının Veliköy'e nazaran biraz daha yüksek olduğu görülmüştür. Diğer bir ifadeyle, Olur PB'nin arazisi daha eğimli bir yapıya sahiptir. Çalışma alanının tanıtımı bölümünde yapılan eğim analizleri de bu bulguyu doğrulamaktadır. Nitekim,

Olur'un ortalama eğimi %42 iken, Veliköy'ünki %34'tür. ÇNHRP'nde Olur mikrohavzasında gerçekleştirilen erozyon izleme ve değerlendirme çalışmaları kapsamında hesaplanan ortalama LS-faktörü 8,7'dir (Yavuz, 2018). Olur'a yakın mesafedeki mikrohavzalardan Yusufeli ve Uzundere'de yapılan erozyon modelleme çalışmaları sonucunda bulunan ortalama LS-faktör değerleri ise sırasıyla 14,9 ve 16,23'tür (Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016; Yavuz ve Tufekcioglu, 2019). İlk çalışmanın verisi Olur PB'nde hesaplanan ortalamanın (8,75) neredeyse aynısı iken; diğer iki çalışmanın verileri bu çalışmanınkinin iki katına yaklaşmaktadır. Ancak, Yusufeli ve Uzundere mikrohavzalarının ortalama eğimleri de Olur'dan oldukça fazladır. Nitekim, Yusufeli'nin ortalama eğimi %57; Uzundere'ninki ise %58'dir. Böylesine yüksek eğim değerleri uzun yamaçlar ile birleşince LS-faktörünü yükseltme yönünde etki yapmışlardır. Dolayısıyla, Olur PB için hesaplanan LS-faktör ortalaması ile diğer çalışmalar arasında bir tutarsızlığa rastlanmamıştır.

3.2.1.4. Bitki Örtüsü ve Ürün Yönetimi (C) Faktörü

Veliköy Planlama Birimi'ndeki örnek alanlarda ölçülüp hesaplanan C-faktör değerleri Ek-7'de toplu olarak sunulmuştur. Buna göre en düşük C-faktörü değeri 0,00029 ile 1773 numaralı örnek alanda bulunmuştur. Bu alan GD rumuzlu aktüel seçme ormanı olup %95 yatay kapalılığın yanı sıra düşey kapalılığa da sahiptir. En yüksek C-faktörü ise 0,35 ile 10078 numaralı örnek alanda bulunmuştur. Bu alan BDy-E meşcere tipinden oluşmakta olup aktif bir erozyon sahasıdır. Sahada ciddi oranda yüzey erozyonu sonucu anakayanın açığa çıktığı gözlenmiştir. Veliköy'deki tüm örnek alanların C-faktörü ortalaması 0,04'tür. Hesaplanan C-faktörleri AKAÖ tipleri itibariyle değerlendirildiğinde verimli ormanların en düşük ortalamaya, diğer AKAÖ grubunda toplanan aktif erozyon sahaları, taşlık ve kayalık alanlar gibi yerlerin en yüksek ortalamaya sahip olduğu görülmüştür (Tablo 26). Bu durum normal kapalılıktaki ormanların bitki örtüsü yönünden toprağı çok iyi koruduklarını göstermektedir. Diğer taraftan alansal olarak daha az yer kaplayan aktif erozyon sahaları gibi yerlerde C-faktörü oldukça yüksek, yani toprak korunması zayıftır. Tablo 26 incelenmeye devam edilirse Veliköy'deki normal kapalı ormanların toprağı boşluklu kapalı ormanlar, mera ve ziraat alanlarına nazaran 29 kata kadar daha iyi koruduğu anlaşılmaktadır. Verimli bitki örtüsüne sahip bir mera alanında ise toprak,

ziraat ve boşluklu kapalı bir ormana göre daha iyi korunabilmektedir. Arazide ölçülerek hesaplanan C-faktörü değerlerine dayanan Tablo 26'daki ortalamalar literatürle karşılaştırıldığında önemli bir uyumsuzluk görülmemiştir. Örneğin; RUSLE erozyon tahmin modelini geliştiren araştırmacılardan Renard ve ark. (1997) karışık ormanlar, ekilebilir alanlar ve meraların C-faktörleri için sırasıyla 0,002, 0,4 ve 0,04 katsayılarının kullanılmasını önermektedirler. Veliköy ormanlarının önemli bir bölümü de karışık meşcerelerden oluşmaktadır. Daha eski bir çalışmada Arnoldus (1977) ise %40−70 aralığında kapalılığa sahip ormanlar için C-faktörünü 0,002 ve 0,004 aralığında hesaplamıştır. Tablo 26'da verilen normal kapalı orman sınıfının kapalılığı da %10−100 arasında olup ortalama kapalılığı %55'tir. Ancak tabloda Veliköy ve Olur PB'lerine ait sütunlar direkt olarak birbiriyle karşılaştırılmamalıdır. Çünkü buradaki değerler tamamıyla arazideki örnek alanlara dayalı olup, iki çalışma alanının örnek alan sayıları ve bu sayının meşcere tiplerine dağılımı farklıdır. Dolayısıyla PB itibariyle yapılacak karşılaştırmalar 3.2.1.4.4 numaralı "C-faktörünün Haritalanması" bölümünde sunulan ve tüm alanı kapsayan değerlerin ortalamaları üzerinden yapılmalıdır.

Tablo 26. Veliköy ve Olur PB'nde sahada ölçülen C-faktörü değerleri

AKAÖ tipleri	Ortalama C-faktörü	
	Veliköy PB	Olur PB
Normal kapalı orman	0,0025	0,002
Boşluklu kapalı orman	0,072	0,061
Ziraat	0,062	0,1
Mera	0,052	0,049
Diğer*	0,164	0,448

* Aktif erozyon sahaları, taşlık ve kayalık alanlar vd.

Olur Planlama Birimi'ndeki örnek alanlarda ölçülüp hesaplanan C-faktör değerleri Ek-8'de toplu olarak sunulmuştur. Buna göre en düşük C-faktörü değeri 0,0005 ile 10 numaralı örnek alanda ölçülmüştür. Bu alan Çscd3 meşceresinden oluşmakta olup tam (%100) kapalılığa sahiptir. En yüksek C-faktörü ise 0,52 ile 10011 numaralı örnek alanda ölçülmüştür. Bu alan meşcere haritasında E rumuzuna sahip aktif erozyon sahasıdır ve NDVI değeri 0'a çok yakındır. Ek-8'de 0,52'den yüksek değerlere

rastlansa da bunlar meşcere tipi olarak tanımlanamayacak bataklık, su kütlesi vb. alanlardır.

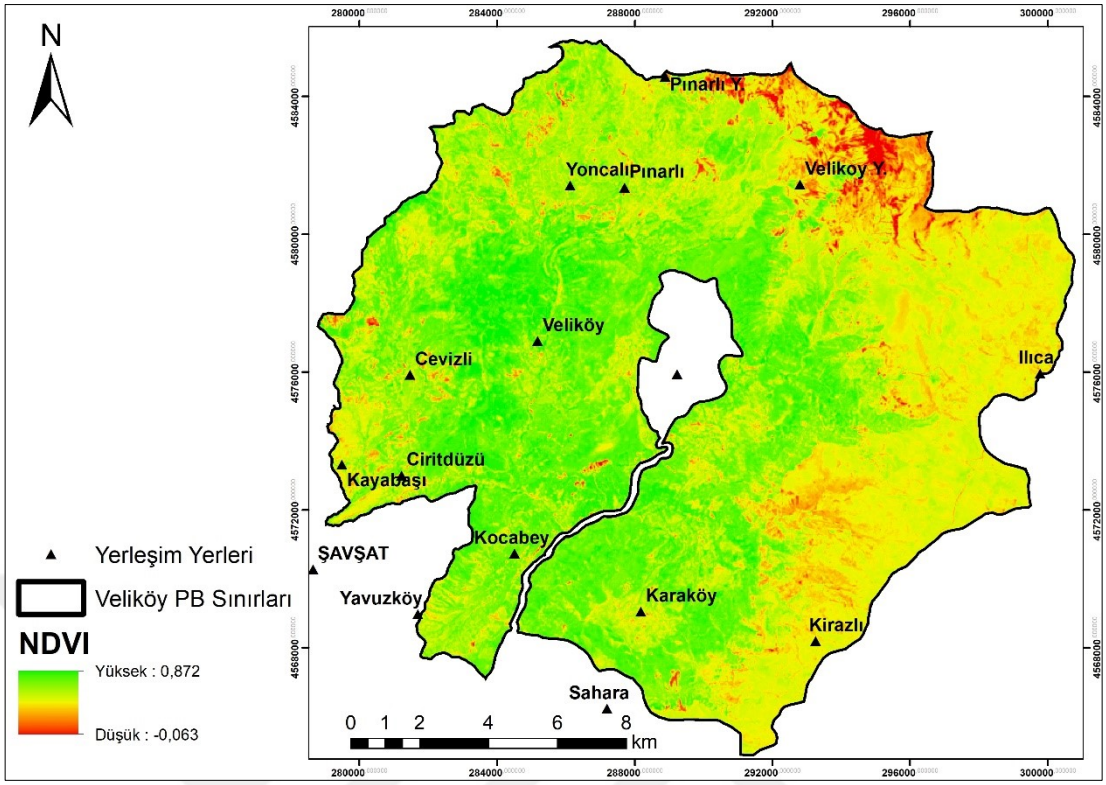
Olur PB'ndeki tüm örnek alanların C-faktörü ortalaması 0,14'tür. Ortalamalar AKAÖ itibariyle değerlendirildiğinde, tıpkı Veliköy'deki gibi normal kapalılıktaki ormanların en düşük ortalamaya, diğer AKAÖ sınıfında yer alan aktif erozyon sahaları, taşlık ve kayalık alanlar gibi yerlerin ise en yüksek ortalamaya sahip olduğu görülmüştür (Tablo 26). En iyi toprak koruma sağlayan normal kapalı orman sınıfını sırasıyla mera, boşluklu kapalı orman ve ziraat alanları takip etmiştir. Olur'da ortalama bir normal kapalı ormanın toprağı boşluklu kapalı ormana göre yaklaşık 30 kat daha iyi koruduğu anlaşılmaktadır. Bu bulgu, farklı meşcere tiplerinin toprak koruma performansları arasındaki yüksek varyasyona işaret ettiği için önemlidir. Ziraat alanlarında ise toprak tamamen çıplak bir alana göre 10 kat daha iyi korunmakta ancak verimli ormana nazaran 50 kat az korunma sağlamaktadır. Bu bulgulara dayalı olarak Olur'daki çıplak bir alanda meydana gelecek toprak kaybının normal kapalılıktaki sağlıklı bir ormanda oluşandan 500 kata kadar daha fazla olabileceği sonucuna ulaşılabilir. Bu sonuç, orman ekosistemlerinin erozyonu önleme fonksiyonunu çarpıcı bir şekilde göz önüne serdiğinden oldukça anlamlıdır.

Olur PB için Tablo 26'da sunulan ortalama değerler literatürdeki çalışmalarla karşılaştırıldığında herhangi bir tutarsızlık görülmemiştir. Nitekim, Shi ve ark. (2002)'nın %40 üzeri kapalılıktaki ormanlar, ziraat bahçeleri ve otlaklar için önerdikleri C-faktör ortalamaları sırasıyla 0,002, 0,1 ve 0,11'dir. Bu ortalamalar Tablo 26'dakilerle beraber değerlendirildiği zaman, orman ve ziraatte fark olmamakla birlikte, mera alanlarında yaklaşık iki kat farklılık olduğu göze çarpmaktadır. Söz konusu farklılık araştırmacıların yoğun olarak büyükbaş hayvan otlatma amaçlı kullanılan otlaklarda çalışmış olmasıyla ilişkilendirilmiştir. Olur PB'ndeki doğal meralarda ise yer yer otlatmaya rastlanmasına rağmen günümüzde kitlesel düzeyde hayvancılık yapılmamaktadır (OGM, 2015b). Dolayısıyla, Olur'daki ot verimi hayvancılıktan çok yağış miktarıyla şekillenmekte ve bu yüzden C-faktör ortalaması diğer çalışmadan daha düşük çıkabilmektedir. Daha yakın zamanda Tortum−Kuzey Mikrohavzası'nda yapılan bir başka çalışmada ise tam kapalı orman ve ziraat alanları için raporlanan C-faktör ortalamaları 0,002 ve 0,159'dur (Vatandaşlar ve Yavuz,

2017). Çalışma alanlarının birbirine yakınlığı ve her iki alanın da ekseriyetle saf Sarıçam ormanlarından oluşması, bu çalışmaları daha karşılaştırılabilir yapmaktadır. Belirtilen C-faktör değerleri arasındaki uyum oldukça belirgindir.

3.2.1.4.1. NDVI Haritalarının Üretilmesi

Veliköy Planlama Birimi'ne ait NDVI haritası Şekil 41'de sunulmuştur. Haritada yeşil renkli, yani yüksek NDVI'lı alanlar bitki örtüsünün yoğun olduğu yerleri; sarımsı alanlar seyrek bitki örtülü orman ve meraları; kırmızı renkli alanlar ise tamamen çıplak arazi, su kütlesi, yerleşim yerleri (çatı) ve asfaltı temsil etmektedir. Çalışma alanının tümünde ortalama NDVI değeri 0,59 olarak hesaplanmıştır. En düşük NDVI değeri −0,06 iken, en yüksek değer 0,87'dir. Beklenildiği gibi değişik yaşlı seçme kuruluşları ile gençlik çağındaki yapraklı ormanlar en yüksek NDVI değerini almışlardır. Bunlar; GD, GLD, Kva3 ve MGna3 rumuzlu meşcereler olup ortalama NDVI'ları 0,78 ile 0,80 arasında değişim göstermektedir (Ek-7). Aktif erozyon sahaları ve taşlık−kayalık alanlar ise en düşük NDVI değerlerini almışlardır. Bunların meşcere rumuzları; Me-E, T, E ve BÇs-E'dir. Örnek alanlar itibariyle değerlendirildiğinde; 10031 ve 10078'un en düşük NDVI değerlerini aldığı görülür. Bu değerler 0,26 ve 0,32 olup, meşcere tipleri sırasıyla OT-E ve BDy-E'dir. 1773 ve 293 numaralı örnek alanlar ise en yüksek NDVI değerlerini almıştır. Bu değerler 0,82 ve 0,81 olup GD ve Lbc3 meşcerelerine aittir. Örnek alanlar itibariyle hesaplanan NDVI değerlerinin tümü Ek-7'de gösterilmiştir. Çalışma alanı genelinde NDVI'ın konumsal dağılışı incelendiğinde; yeşilimsi (0,61−0,87 aralığı) ve sarımsı (0,41−0,60 aralığı) tonların hakim olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum Veliköy PB'nin hem orman hem de mera arazi kullanımlarındaki zengin bitki örtüsüyle açıklanabilir. Kuzeydoğu kesimindeki kırmızı tonlar ise alpin/nival zonda kalan ve anakayanın genellikle açığa çıktığı dağ zirveleridir. Buralardaki rakım 3000 m civarındadır.

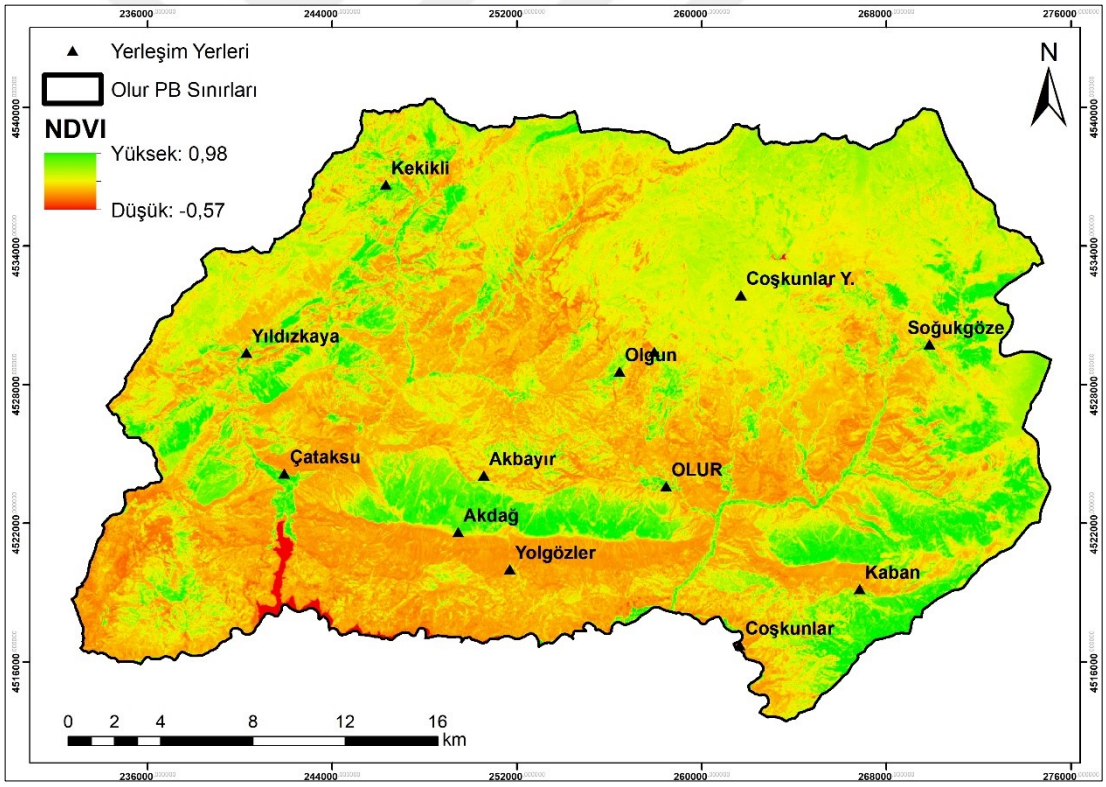


Şekil 41. Veliköy Planlama Birimi NDVI haritası

Olur Planlama Birimi'ne ait NDVI haritası ise Şekil 42'de sunulmuştur. Çalışma alanının bütünü için NDVI değerleri −0,57 ile 0,91 arasında değişmekte olup ortalama NDVI değeri 0,36 olarak hesaplanmıştır. Olur yakınlarında bulunan mikrohavzalardan Tortum−Kuzey'de gerçekleştirilen başka bir çalışmada ortalama NDVI değeri 0,33 bulunmuştur (Vatandaşlar ve Yavuz, 2017). Görüldüğü gibi aynı iklim kuşağındaki benzer mikrohavzaların ort. NDVI değerleri de birbirine çok yakın çıkmaktadır. Ancak Olur'un ortalama değeri farklı bir iklim kuşağında bulunan Veliköy PB'nden daha düşüktür. Bunun nedeni; Duman (2017)'ın da belirttiği gibi Veliköy'ün nemli iklim kuşağında yer alırken, Olur'un yarıkurak iklim kuşağında yer alışıdır.

Olur PB'nde KvDybc3, ÇsDybc2, Çsc3 ve Çscd3 gibi meşcerelerin ortalama NDVI'ı 0,72 iken; Oc, Su, BAr-T ve OT-E'ninki −0,13'tür. Örnek alanlar itibariyle değerlendirildiğinde; 523 ve 1109 numaralı alanlar en yüksek NDVI değerlerini almıştır. Bu değerler sırasıyla 0,80 ve 0,81 olup Çsb3 ve KvDyb3 meşcerelerine aittir. 1089 ve 1083 ise en düşük NDVI değerlerini almıştır. Bu değerler sırasıyla 0,11 ve 0,12 olup her ikisinin meşcere tipi de BArDy'dir. Örnek alanlar itibariyle hesaplanmış tüm NDVI değerleri Ek-8'de yer almaktadır. Çalışma alanı genelinde NDVI'ın

konumsal dağılışı incelendiğinde; PB'nin güneyinde kalan ve yeşil renkle temsil edilen alanların Akdağ'ın kuzey yamaçlarındaki normal kapalı Sarıçam ormanları olduğu görülmektedir (Şekil 42). Ayrıca batı ve doğu kesimlerde lokal olarak bulunan verimli meşcereler de haritaya yeşil renk katmışlardır. Bunun dışında havza boyunca ilerleyen derelerin kenarında kalan düzlük alanlardaki sulu tarım yapılan bahçeler de NDVI haritasını çizgisel olarak yeşillendirmiştir. Kırmızı renkle temsil edilen düşük NDVI'lı alanlar ise daha çok güneyde ve orta kesimlerde yoğunlaşmıştır. Bu alanlar genellikle bozuk mera ya da boşluklu kapalı orman arazilerinden oluşmakta olup önemli bir kısmı aktif erozyon sahasıdır. Havzanın kuzeyine doğru yükseldikçe sararan kısımlar genellikle verimli meralardan oluşmaktadır. Bu kesimler yükselen rakımla beraber artan yağış nedeniyle alçak kesimlerdeki bozuk meraların aksine bol miktarda vejetasyon örtüsüne sahiptirler.

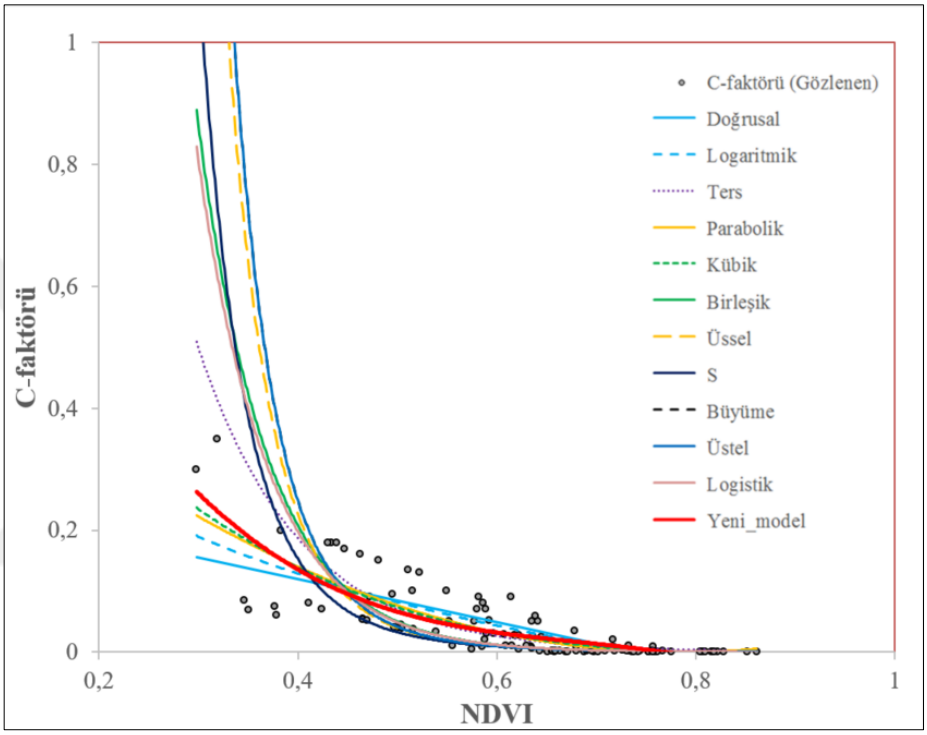


Şekil 42. Olur Planlama Birimi NDVI haritası

3.2.1.4.2. C-faktörü Modellerinin Geliştirilmesi

Veliköy Planlama Birimi için yapılan Kolmogorov−Smirnov testi sonucunda örnek alanı oluşturan piksellerden toplanan NDVI değerlerinin normal dağılım gösterdiği

tespit edilmiştir (p=0,20>0,05). Bunun üzerine NDVI ve C-faktörü değerleri ile korelasyon analizi yapılmış ve r=−0,76 bulunmuştur (p<0,01). Dolayısıyla NDVI ve C-faktörü arasında yüksek kuvvette ve ters yönlü bir ilişki olduğu anlaşılmıştır. NDVI değerinin artışı ile C-faktörünün anlamlı bir şekilde azaldığı; diğer bir ifadeyle, sahadaki NDVI değeri yükseldikçe bitki örtüsünün toprak koruma etkisinin de arttığı görülmüştür (Şekil 43).



Şekil 43. Veliköy PB'nde NDVI ve C-faktörü arasındaki ilişki ve geliştirilen modellere ait kestirimler

Regresyon analizi sonucunda ortaya çıkan modeller ve bunların katsayıları Tablo 27'de verilmiştir. Tabloda kübik, birleşik ve lojistik modellere ait bazı katsayıların istatistiksel olarak anlamsız olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu üç model direkt olarak elenmiştir. Geriye kalanlar arasından tahmin başarısı en iyi olan model çeşitli istatistik ölçütler yardımıyla bir sonraki bölümde seçilmiştir. Veliköy PB için geliştirilen tüm regresyon modellerine ait doğru ve eğriler Şekil 43'teki dağılım grafiği üzerinde toplu olarak görülebilir.

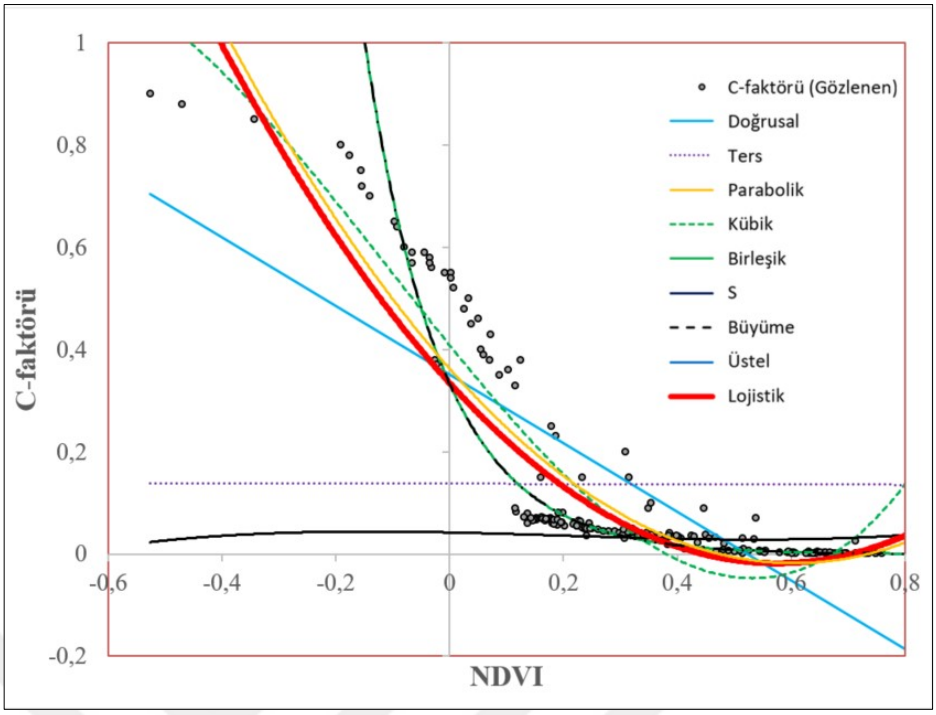
Tablo 27. Veliköy PB için geliştirilen regresyon modelleri ve katsayıları

Model adı	Katsayılar				$R^2_{düz.}$	Önem düzeyi
	β_0	β_1	β_2	β_3		
Doğrusal	0,261	−0,354			0,569	p<0,001
Logaritmik	−0,064	−0,211			0,623	p<0,001
Parabolik	0,583	−1,488	0,948		0,655	p<0,001
Kübik	0,763	−2,481	2,699*	−0,990*	0,655	p<0,001
Birleşik	62,228	0,0000006*			0,768	p<0,001
S	−11,334	3,887			0,626	p<0,001
Üssel	0,0018	−7,801			0,712	p<0,001
Ters	−0,154	0,115			0,658	p<0,001
Üstel	62,228	−14,253			0,768	p<0,001
Büyüme	4,131	−14,253			0,768	p<0,001
Lojistik	0,012	2297316,6*			0,774	p<0,001
Yeni model	−0,04632	0,028483			0,667	p<0,001

* Model katsayısı p<0,05 önem düzeyinde anlamsızdır.

Olur Planlama Birimi için gerçekleştirilen Kolmogorov−Smirnov testi sonucunda örnek alanlara ait NDVI değerlerinin normal dağılım gösterdiği tespit edilmiştir (p=0,075>0,05). NDVI ve C-faktörü değerleri arasında r=−0,80 şiddetinde kuvvetli ve ters yönlü bir ilişki bulunmuştur (p<0,01). Tıpkı Veliköy PB'nde olduğu gibi Olur PB'nde de NDVI değerinin artması halinde C-faktörünün anlamlı bir şekilde azaldığı anlaşılmaktadır (Şekil 44).

Olur PB için kurulan C-faktörü modelleri ve bu modellere ait katsayılar Tablo 28'de toplu olarak gösterilmiştir. Modellerin önem düzeyi ve katsayıları incelendiğinde S ve ters modellerinin istatistiksel olarak anlamlı olmadıkları anlaşılmaktadır (p>0,05). Bu modeller bir bütün olarak anlamlı olmadığı gibi, β_1 katsayıları da anlamlı değildir. Dolayısıyla söz konusu iki model listeden elenerek bir sonraki bölümde yapılacak karşılaştırmaya sokulmamışlardır. İstatistiksel olarak anlamlı bulunan diğer modellerin tahmin başarıları bir sonraki bölümde değerlendirilmiştir. Olur PB için geliştirilen tüm regresyon modellerine ait doğru ve eğriler ise Şekil 44'teki dağılım grafiği üzerinde toplu olarak görülebilir.



Şekil 44. Olur PB'nde NDVI ve C-faktörü arasındaki ilişki ve geliştirilen modellere ait kestirimler

Tablo 28. Olur PB için kurulan regresyon modeller ve katsayıları

Model adı	Katsayılar				$R^2_{düz.}$	Önem düzeyi
	β_0	β_1	β_2	β_3		
Doğrusal	0,352	−0,672			0,638	p<0,001
Parabolik	0,363	−1,259	1,042		0,828	p<0,001
Kübik	0,409	−1,382	0,359	1,178	0,860	p<0,001
Birleşik	0,333	0,001			0,872	p<0,001
S	−3,481	0,006*			0,009	p>0,05
Lojistik	3,003	1623,3			0,872	p<0,001
Ters	0,134	0,001*			0,011	p>0,05
Üstel	0,333	−7,392			0,872	p<0,001
Büyüme	−1,099	−7,392			0,872	p<0,001
Yeni model	0,359	−1,258	1,049	0,000353	0,832	p<0,001

* Model katsayısı p<0,05 önem düzeyinde anlamsızdır.

3.2.1.4.3. En İyi C-faktör Modelinin Seçimi

Veliköy Planlama Birimi için bir önceki bölümde yer alan modeller sekiz ayrı istatistik ölçüt ile sınanmıştır (Tablo 29). Üstel (eksponansiyel) ve büyüme modellerinin $R^2_{düz.}$ açısından en başarılı modeller olduğu anlaşılmaktadır. Bunların $R^2_{düz.}$'leri 0,768 olup Tablo 30'daki $R^2_{düz.}$ kriterinden en yüksek puanları almışlardır. Ancak bu modeller HKOK açısından çok başarılı değildirler. Dolayısıyla HKOK açısından en yüksek

puanı çoklu doğrusal regresyonla kurulan "yeni model" almıştır. Bu modelin HKOK'si 0,035'tir. "Yeni model" HKT, HKO, OMH ölçütlerinde de en düşük değerleri alarak en yüksek puana sahip olmuştur. Fakat parabolik modelin de HKO ve OMH ölçütlerinde "yeni model" ile aynı değere sahip olduğu ve onunla başa baş yarışması dikkat çekicidir (Tablo 29). AIC, BIC ve SBC ölçütlerinde ise ters modelin öne çıktığı görülmektedir. Bu ölçütlerde ters modeli takiben "yeni model" ikinci sırada gelmektedir. Sonuç olarak her bir modelin farklı ölçütlerden aldıkları puanlar toplandığında Veliköy PB için türetilen "yeni model"in 64 puanla birinci sıraya tırmandığı görülmektedir (Tablo 30). Bu model HKOK, HKT ve HKO ölçütlerinde birinci sırada; OMH, AIC ve BIC ölçütlerinde ise ikinci sırada yer alarak genelde tüm modeller arasından en başarılısı seçilmiştir. Bir önceki bölümde sunulan Şekil 43 üzerinden yapılacak görsel değerlendirmede de söz konusu model eğrisinin (kırmızı) NDVI ve C-faktör arasındaki ilişkiyi en iyi şekilde temsil ettiği görülebilir. "Yeni model" tek değişken olarak $1/NDVI^2$'yi kullanmakta olup model denklemi Eşitlik 46'daki gibidir. Modelin $R^2_{düz.}$'si 0,667, HKOK değeri ise 0,035'tir. 0,035'lik tahmin hatası 0 ile 1 arasında değişen C-faktörü için makul bir değer olarak değerlendirilebilir.

$$C = -0{,}046327 + \left(\frac{0{,}028483}{NDVI^2}\right) \quad (46)$$

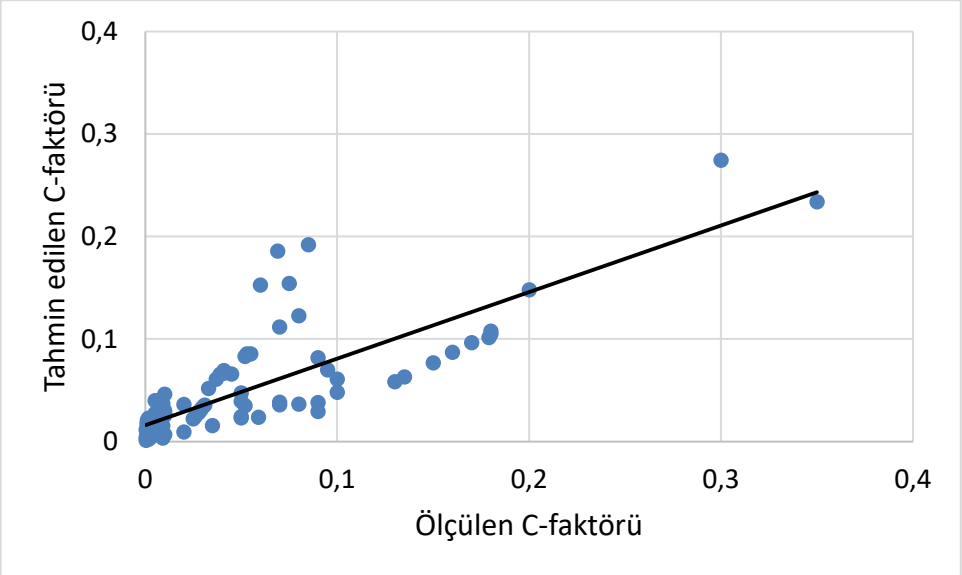
Tablo 29. Veliköy PB C-faktör modellerine ait istatistik ölçütler

Model adı	$R^2_{düz.}$	HKOK	HKT	HKO	OMH	AIC	BIC	SBC
Doğrusal	0,569	0,040	0,182	0,002	0,029	−737,5	−735,4	−732,0
Logaritmik	0,623	0,038	0,159	0,001	0,027	−752,8	−750,8	−747,3
Parabolik	0,655	0,036	0,145	0,001	0,023	−762,2	−760,0	−753,9
S	0,626	0,540	32,98	0,287	0,102	−139,6	−137,5	−134,1
Üssel	0,712	0,225	5,743	0,050	0,059	−340,6	−338,6	−335,1
Ters	0,658	0,036	0,145	0,001	0,025	−764,1	−762,1	−758,7
Üstel	0,768	0,089	0,910	0,008	0,035	−552,5	−550,4	−547,0
Büyüme	0,768	0,089	0,910	0,008	0,035	−552,5	−550,4	−547,0
Yeni model	0,667	0,035	0,141	0,001	0,023	−763,1	−760,8	−752,2

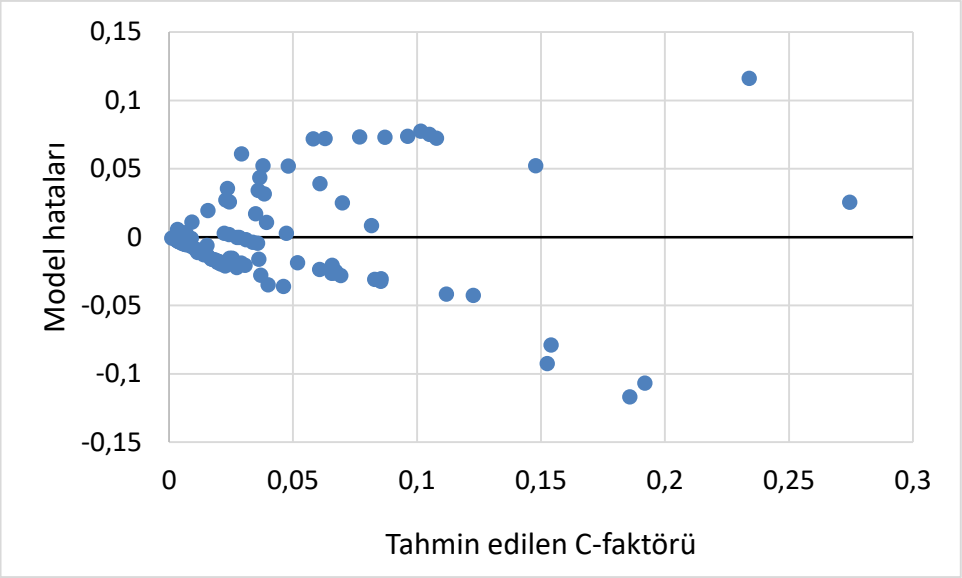
Tablo 30. Veliköy PB için modellerin puanlandırılması ve başarı sıralaması

Model adı	Modellerin istatistik ölçütlerden başarılarına göre aldıkları puanlar								
	$R^2_{düz.}$	HKOK	HKT	HKO	OMH	AIC	BIC	SBC	Toplam
Yeni model	**6**	**9**	**9**	**9**	**8**	**8**	**8**	**7**	**64**
Ters	5	7	8	7	7	9	9	9	61
Parabolik	4	8	7	8	9	7	7	8	58
Logaritmik	2	6	6	6	6	6	6	6	44
Üstel	9	4	4	4	4	4	4	4	37
Doğrusal	1	5	5	5	5	5	5	5	36
Büyüme	8	3	3	3	3	3	3	3	29
Üssel	7	2	2	2	2	2	2	2	21
S	3	1	1	1	1	1	1	1	10

Veliköy PB için en başarılı bulunan "yeni model"in tahmin ettiği C-faktörü değerleri ile arazide ölçülen C-faktörü değerleri arasındaki ilişki Şekil 45'te gösterilmiştir. Diğer taraftan bu modele ait hataların dağılım grafiği ise Şekil 46'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde artı ve eksi yöndeki hataların dengeli bir şekilde dağıldığı ve genel yapıda rastgeleliğin hakim olduğu görülmektedir. Başka bir anlatımla, hataların belirli bir yönde eğilim göstermedikleri anlaşılmaktadır. Bu durum istatiktiksel varsayımlardan rastgele hataların "yeni model" için karşılandığını ve dolayısıyla modelde değişen varyans probleminin olmadığını göstermektedir (Kahriman, 2011).



Şekil 45. Veliköy PB için yeni model ile tahmin edilen C-faktörü değerleri ile sahada ölçülen değerler arasındaki ilişki



Şekil 46. Veliköy PB'nde yeni modele ait hataların tahmin edilen C-faktörü değerlerine göre değişimi

Olur Planlama Birimi için bir önceki bölümde geliştirilen modeller sekiz ayrı istatistik ölçüt ile sınanmıştır (Tablo 31). Birleşik, lojistik, üstel (eksponansiyel) ve büyüme modellerinin $R^2_{düz.}$ açısından en başarılı modeller olduğu anlaşılmaktadır. Bunların $R^2_{düz.}$'leri birbirine eşit olup 0,872'dir. Dolayısıyla Tablo 31'deki $R^2_{düz.}$ kriterinde en yüksek değerleri almışlardır. Ancak lojistik hariç olmak üzere bu modellerden üçü HKOK açısından başarı gösterememişlerdir. HKOK kriterinde en başarılı model 0,065 ile lojistik olduğu için bu model tam puan almıştır. Aynı model diğer altı kriterde de (HKT, HKO, OMH, AIC, BIC, SBC) en yüksek performansı sergilemiştir. Dolayısıyla tüm kriterlerden yüksek puanlar alarak toplamda 63 puana ulaşmıştır (Tablo 32). Bir önceki bölümde yer alan Şekil 44'teki grafik incelendiği zaman, lojistik modele ait kırmızı renkli eğrinin NDVI ve C-faktör arasındaki ilişkiyi en iyi şekilde yansıttığı görülebilmektedir. Tahmin başarısı en yüksek olan bu modelin $R^2_{düz.}$'si 0,872, HKOK değeri ise 0,065'tir. Diğer bir ifadeyle, lojistik model ile Olur PB'nde C-faktöründeki değişimin %87,2'si açıklanabilmektedir.

Tablo 31. Olur PB C-faktör modellerine ait istatistik ölçütler

Model adı	$R^2_{düz.}$	HKOK	HKT	HKO	OMH	AIC	BIC	SBC
Doğrusal	0,638	0,132	3,158	0,017	0,113	−744,0	−741,9	−737,5
Parabolik	0,828	0,091	1,494	0,008	0,065	−879,7	−877,6	−870,0
Kübik	0,860	0,082	1,210	0,007	0,067	−916,4	−914,3	−903,6
Birleşik	0,872	1,380	346,3	1,883	0,202	120,4	122,4	126,8
Lojistik	0,872	0,065	0,774	0,004	0,040	−1002,7	−1000,7	−996,3
Üstel	0,872	1,380	346,4	1,883	0,202	120,4	122,4	126,8
Büyüme	0,872	1,380	346,4	1,883	0,202	120,4	122,4	126,8
Yeni model	0,832	0,090	1,450	0,008	0,064	−883,1	−881,0	−870,3

Tablo 32. Olur PB için modellerin puanlandırılması ve başarı sıralaması

Model adı	Modellerin istatistik ölçütlerden başarılarına göre aldıkları puanlar								
	$R^2_{düz.}$	HKOK	HKT	HKO	OMH	AIC	BIC	SBC	Toplam
Lojistik	**7**	**8**	**8**	**8**	**8**	**8**	**8**	**8**	**63**
Kübik	4	7	7	7	5	7	7	7	51
Yeni model	3	6	6	6	7	6	6	6	46
Parabolik	2	5	5	5	6	5	5	5	38
Doğrusal	1	4	4	4	4	4	4	4	29
Birleşik	8	3	3	3	3	3	3	3	29
Üstel	6	2	2	2	2	2	2	2	20
Büyüme	5	1	1	1	1	1	1	1	12

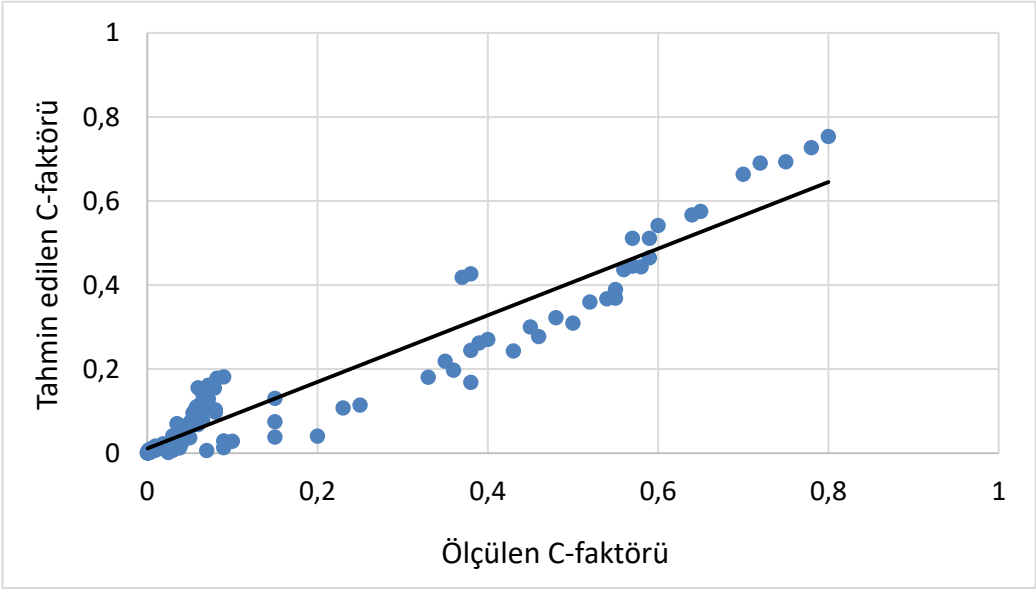
Olur PB için önerilen C-faktör modelinin Veliköy'dekinden daha yüksek $R^2_{düz.}$'ye sahip olması Olur'un bitki örtüsündeki düşük varyasyon ile açıklanabilir. Nitekim, arazide ölçülen meşcere parametrelerine ait istatistiklerin yer aldığı Tablo 20'de yaş, ağaç sayısı, göğüs yüzeyi, ağaç serveti gibi birçok parametreye ait standart sapma değerinin Olur'da Veliköy'e nazaran daha düşük olduğu görülmektedir. Diğer yandan Veliköy PB biyolojik çeşitlilik açısından çok zengin olup karışık meşcereleriyle ünlüdür (Eminağaoğlu ve ark., 2007). Vatandaşlar ve Yavuz (2017) da Olur yakınlarında bulunan başka bir mikrohavzada gerçekleştirdikleri çalışmada C-faktörünü NDVI yardımıyla modellemişlerdir ($R^2_{düz.}$=0,83). $R^2_{düz.}$ katsayıları arasındaki yakınlık hemen göze çarpmaktadır. Diğer yandan, bu çalışmada Olur ve Veliköy modellerinin $R^2_{düz.}$ değerleri arasındaki farklılık, kullanılan modellerin yapısıyla ilişkili de olabilir. Nitekim, Olur'da NDVI ve C-faktörü arasındaki ilişkiyi açıklamak için lojistik eğri kullanılırken (Şekil 44), Veliköy'deki ilişki farklı tipteki bir eğriyle açıklanmıştır (Şekil 43). Olur PB için en başarılı seçilen lojistik modelin denklemi Eşitlik 47'de verilmiştir.

$$C = 1/(\frac{1}{u} + (3{,}003 \times \left(1623{,}312^{NDVI}\right)) \quad (47)$$

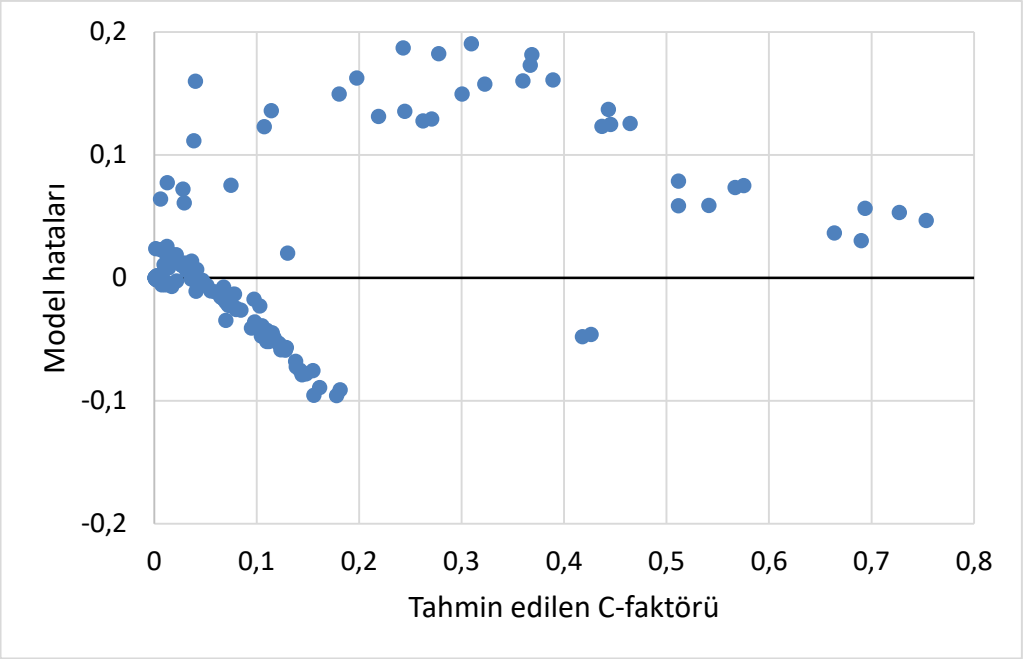
Eşitlik 47'de;

u: lojistik denklemin üst tahmin sınırını oluşturan değerdir. C-faktörü 0 ve 1 arasında değiştiği için u=1 olmaktadır.

Lojistik modelin Olur PB'nde tahmin ettiği C-faktörü değerleri ile, arazide ölçülen C-faktörü değerleri arasındaki ilişki Şekil 47'de gösterilmiştir. Şekle göre iki değişken arasındaki ilişki doğrusala oldukça yakındır. Diğer taraftan bu modele ait hataların dağılım grafiği ise Şekil 48'de görülebilir. Grafik incelendiğinde artı ve eksi yöndeki hata miktarlarının toplamda birbirine yakın olduğu fakat özellikle 0,2'den büyük tahmin edilen C-faktörü değerlerinde genellikle artı yönde hata verildiği anlaşılmaktadır. Bunun nedeni; arazideki su, kaya, asfalt vb. yapılarda C-faktörünün ölçülememesi yüzünden model kurulumu aşamasında bunlara literatürden standart değerlerin verilmesi olabilir. Nitekim, Vatandaşlar ve Yavuz (2017)'un çalışmasında da sekiz farklı modelin hata dağılımları grafik yöntemle ayrı ayrı incelenmiş ve C-faktörü yükseldikçe hataların pozitif yönde çıktığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 47. Olur PB için lojistik modelle tahmin edilen C-faktörü değerleri ile sahada ölçülen değerler arasındaki ilişki

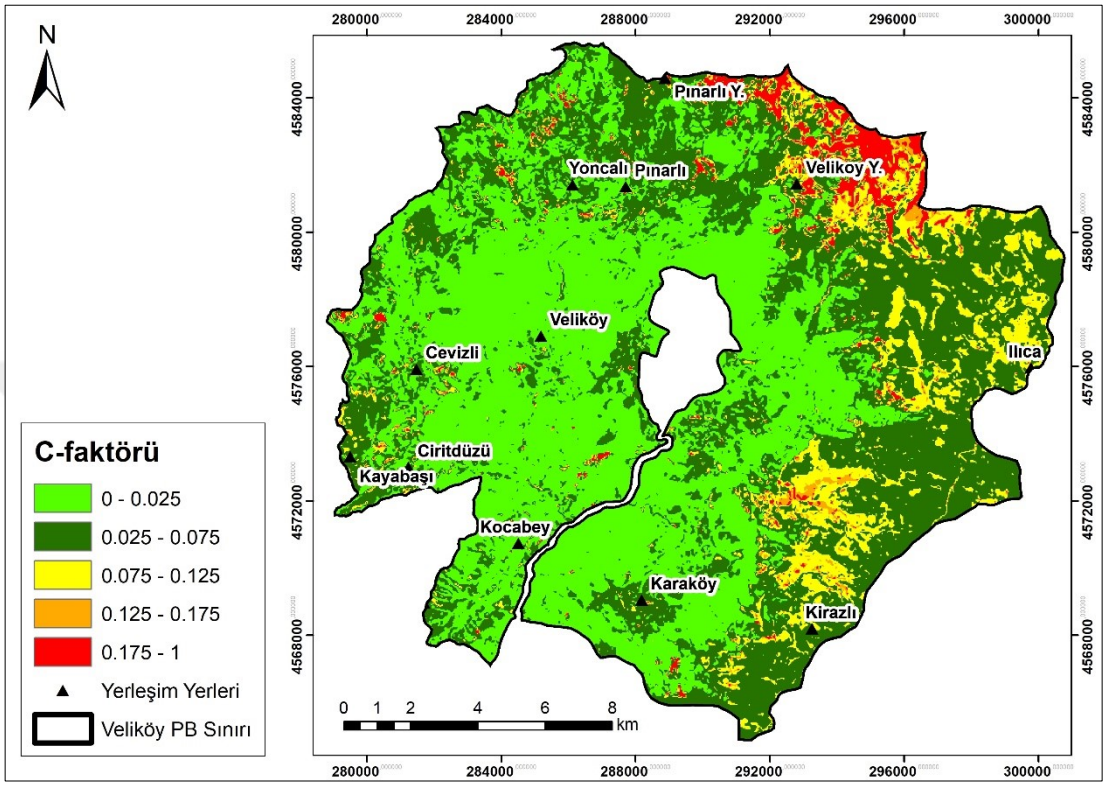


Şekil 48. Olur PB'nde lojistik modele ait hataların tahmin edilen C-faktörü değerlerine göre değişimi

3.2.1.4.4. C-faktörünün Haritalanması

Veliköy Planlama Birimi için bir önceki bölümde geliştirilen "yeni model" ile üretilen C-faktörü haritası Şekil 49'da gösterilmiştir. Haritaya ait özet istatistikler ise Tablo 33'te sunulmuştur. Veliköy PB bir bütün olarak ele alındığında; orta ve batı kesimlerde yoğunlaşan açık yeşil renkler dikkat çekmektedir. Bu alanlar esasen Veliköy'ün orman varlığını oluşturan aynı yaşlı meşcereler ve değişik yaşlı seçme kuruluşlardır. Yetişme ortamı verim gücünün yüksek olması nedeniyle genelde tam kapalılıkta olan bu meşcereler üstün toprak koruma performansı göstermektedirler. Açık yeşil renk etrafında görülen koyu yeşil renkli alanlar ise genellikle orman içi açıklık (OT) ya da boşluklu kapalı meşcerelerden oluşmaktadır. Söz konusu alanların ağırlıkla Veliköy Bucağı, Cevizli, Pınarlı ve Karaköy gibi yerleşim yerleri etrafında yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Bu durumun, bölgede geçmişten beri yaşanan sosyal baskının bir sonucu olduğu değerlendirilebilir. Çalışma alanının doğu kesimlerinde kalan koyu yeşillikler ise Ardahan'a doğru uzanan verimli mera arazileridir. Buralarda odunsu vejetasyon yerini otsu vejetasyona bıraktığı için toprağın korunma derecesinde ormana nazaran belirli bir kayıp gözlenmektedir. Renard ve ark. (1997) ve Shi ve ark.

(2002)'nın orman ve mera alanları için raporladıkları C-faktör katsayıları da bu bulguyu destekler niteliktedir.



Şekil 49. Veliköy Planlama Birimi C-faktörü haritası

Tablo 33. Veliköy ve Olur PB C-faktörü haritalarına ait istatistikler

Çalışma alanı	C-faktörü değerleri			
	Min.	**Ort.**	Maks.	S
Veliköy PB	0	**0,040**	1,0	0,043
Olur PB	0	**0,091**	0,999	0,089

Veliköy PB'nde doğuya ve kuzeye doğru gidildikçe sarı ve kırmızı tonlara da rastlanmaktadır. Bu kesimlerde rakımdaki ani yükselmeyle beraber orman sona ermekte ve verimli meralar başlamaktadır. Ancak özellikle güneydoğu ve doğu kesimlerdeki sarılıklar meraların üzerinde bol miktarda taş ve irili ufaklı kayaların bulunmasından kaynaklanmaktadır. Daha yüksek kesimlerdeki (en doğuda) sarı alanlar ise Veliköy meralarında gözlenen derin oyuntu ve taş akmaları ile ilişkilidir (Şekil 50). Barut (2010) bu alanlarda çalışmış ve söz konusu durumun marn ve kumtaşı

anakayalarından oluşan toprak tiplerinin erozyona karşı duyarlılıklarının farklı oluşu ile açıklamıştır. Diğer yandan, kuzeydoğu kesimlerde yoğunluk kazanan kırmızı alanlar ise 3000 m rakımdaki dağ zirvelerinden oluşmaktadır. Bu kesimlerde anakaya açığa çıkarak ortofoto üzerinde parlak yansıma değerleri oluşturmuş ve NDVI'ı düşürmüştür. NDVI değerlerinin düşmesindeki diğer etken; daha yükseklerde bulunan kar tabakasının neredeyse tüm yıl boyunca yerden kalkmamasıdır. Bu durum söz konusu kesimlerdeki C-faktörünü önemli ölçüde arttırmıştır. Tufekcioglu ve ark. (2018)'nın Veliköy Mikrohavzası için ürettikleri C-faktörü haritasında da aynı alanlar farklı renkle temsil edilerek çevresinden belirgin şekilde ayrılmıştır. Dolayısıyla, Şekil 49 ile literatürdeki diğer çalışmalar arasında konumsal bir uyumdan da söz edilebilir.



Şekil 50. Veliköy PB'ndeki sub-alpin meralarda oluşan oyuntu erozyonu ve taş akmaları (Barut, 2010)

Tablo 33 değerlendirildiğinde Veliköy PB C-faktörü haritasındaki değerlerin 0 ile 1 arasında değişmekte olup, ortalamasının 0,040 olduğu görülmektedir. Standart sapma ise 0,043'tür. Daha önce belirtildiği gibi, Veliköy'ün kuzeydoğusundaki beyaz renkli çıplak anakayaların ve zirvelerde biriken kar tabakasının ortalama C-faktör değerini bir miktar yükselttiği düşünülmektedir. Bu sebeple gerçek ortalamanın 0,040'dan biraz daha düşük olabileceği değerlendirilebilir. Bu durum NDVI tabanlı C-faktör

modellerinin en önemli handikaplarındandır. Bunun dışında, üretilen harita literatürle genel olarak uyumludur. Tufekcioglu ve ark. (2018)'nın ÇNHRP kapsamında aynı alanda gerçekleştirdikleri çalışmada Veliköy Mikrohavzası'nın ortalama C-faktörü 0,050 olarak bulunmuştur. Araştırmacılar alandaki C-faktörü değerinin 0 ile 0,59 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Görüldüğü gibi ortalama değerler birbirine yakındır. Bu tez çalışmasındaki maksimum C-faktörünün Tufekcioglu ve ark. (2018)'nınkinin aksine 1'e kadar çıkması ise görüntü üzerinde bulunan karlı alanlarla açıklanabilir.

Veliköy PB'deki arazi kullanımları için harita üzerinden hesaplanan ortalama C-faktörü değerleri ise Tablo 34'te verilmiştir. Beklenildiği gibi normal kapalılıktaki ormanların en düşük C-faktörü değerine yani en yüksek toprak koruma performansına sahip oldukları görülmüştür. Veliköy'deki normal kapalı ormanların ortalama C-faktörü 0,008'dir. Renard ve ark. (1997)'nın karışık ormanlar için kullanılmasını önerdiği C-faktör değeri de 0,002'dir. İki değer arasındaki fark kapalılıkla ilişkilendirilmiştir. Nitekim, Renard ve ark. (1997)'nın önerdiği değer tam kapalı ormanlar için iken, bu çalışmada bulunan değer tüm kapalılık sınıflarını (1, 2 ve 3) kapsamaktadır. Normal kapalı ormanları ort. 0,031 C-faktörü ile ziraat alanları takip etmektedir. Bu değer sürpriz bir bulgudur. Veliköy'deki ziraat alanlarının beklenilenden düşük C-faktörüne sahip olmasının birden çok sebebi vardır. Bunları; görüntünün alım zamanı (Eylül), Veliköy'de önemli bir yer kaplayan meyve ağaçları, çoğu ziraat alanının esasen orman toprağı (OT) sahaları ile içiçe geçmiş olması, meralardaki derin oyuntular ve bölgenin nemli iklim özellikleri şeklinde sıralamak mümkündür. Su noksanlığı yaşamayan Veliköy'deki tarımsal bitki örtüsü görüntünün alındığı tarihte yeşilliğini korumakta ve canlılığını sürdürmektedir. Buna ilaveten çevredeki ormanlardan düşen tohumlar birçok yerde terk edilmiş olan ziraat alanlarına gençliğin gelmesine neden olmaktadır. Yavuz ve Vatandaşlar (2018)'ın Karagöl−Sahara MP'nda gerçekleştirdikleri zamansal değişim çalışması da bu bulguyu destekler niteliktedir. Araştırmacılar bölgedeki ziraat alanlarının yarısından fazlasının verimli ya da boşluklu kapalı ormana dönüştüğünü tespit etmişlerdir. Bu durumu Türkiye'de son 40 yılda yaşanan kırdan kente göç olgusu sonucunda, birçok ziraat alanının doğaya terk edilmesiyle ilişkilendirmişlerdir. Bu nedenlerle yerel halkın

orman işletmesi ile sık sık arazi ihtilafları yaşadığı Türkiye'de olduğu gibi (Ayaz ve Karahalil, 2019), bölgede de bilinen bir gerçektir (Yavuz ve Vatandaşlar, 2018).

Tablo 34. Arazi kullanımı/arazi örtüsü itibariyle C-faktörü değerleri

AKAÖ tipleri	Ortalama C-faktörü değerleri	
	Veliköy PB	Olur PB
Normal kapalı orman	0,008	0,011
Boşluklu kapalı orman	0,040	0,061
Ziraat	0,031	0,090
Mera	0,092	0,090
İskan	0,048	0,062
Su, bataklık, sazlık	0,093	0,660
Diğer*	0,187	0,160

* Aktif erozyon sahaları, taşlık ve kayalık alanlar vd.

Ortalama C-faktör değeri açısından, ziraat alanlarını takiben boşluklu kapalı ormanlar gelmektedir. %10'un altında kapalılığa sahip olan bu ormanlar ort. 0,040 C-faktör değeri almıştır. Bu değer literatürdeki sınırlar içerisindedir. Keza Arnoldus (1977)'un FAO için derlediği çalışmada en düşük kapalılık sınıfındaki ormanlara ait C-faktör değerleri 0,020 ve 0,090 aralığındadır. İskan alanları 0,048 C-faktörü değeri ile boşluklu kapalı ormanları takip etmektedir. Bu değerin nispeten düşük oluşu Veliköy'deki dağınık yerleşim yerleri etrafında kalan yeşillik ve ağaçlık alanlarla açıklanabilir. Çünkü vektör tabanlı meşcere haritalarında her bir ev ayrı ayrı belirtilememekte, birçok evin birbirine yakın şekilde bulunduğu alanlar bir bütün olarak poligon halinde çizilmektedir. Dolayısıyla bu poligonların içinde kalan bahçeler, ağaçlıklar, yeşillikler ve diğer çıplak alanlar, NDVI ve C-faktörü haritalarını ister istemez şekillendirmektedir.

Veliköy PB'nde geniş bir alan kaplayan meralar ise ort. 0,092 C-faktörü değerine sahiptir. Halbuki Renard ve ark. (1997)'nın meralar için önerdiği C-faktörü değeri 0,04'tür. Şekil 50'de de gösterildiği gibi Veliköy'ün meralarında sıklıkla rastlanan taşlık alanlar, açığa çıkmış anakayalar ve derin oyuntu izleri yanı sıra toplam mera alanının azınsanmayacak bir kısmını oluşturan kar tabakası bu sınıftaki ortalamayı yükseltmiştir. Gerçekten de Ek-9'daki gibi meşcere tipleri itibariyle değerlendirmeye

gidilirse yalnızca verimli meraların (Me-E ve Me-T hariç) yani Me rumuzunun ortalama C-faktörü değerinin 0,068'e kadar düştüğü görülebilir. Karla kaplı alanların da hariç tutulması halinde bu değerin 0,04'e daha da yaklaşacağı açıktır. Son olarak su, bataklık ve sazlık alanlardaki ortalama C-faktörü 0,093 olarak hesaplanmıştır. Su kütlelerinin her ne kadar düşük NDVI ve dolayısıyla daha yüksek C-faktörü değerlerine sahip olması beklense de, bu yüzeylerde toprak bulunmadığı için toprak koruma etkisinden bahsetmek de anlamsızdır. Bu nedenle, su sınıfına ait C-faktörü tahmini için arazide herhangi bir ölçüm yapılmamış, yalnızca regresyon model kurulumunda kullanılmıştır. Sonuç olarak bu sınıfın ortalama değeri 0'a yakın çıkmıştır.

Veliköy PB'ndeki meşcere tipleri için harita üzerinden hesaplanan ortalama C-faktör değerleri ise Ek-9'da verilmiştir. Tablo bir bütün olarak incelendiğinde genel olarak değişik yaşlı seçme kuruluşları, geniş yapraklı meşcereler ve karışık meşcerelerin en düşük C-faktörü değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Diğer bir ifadeyle, söz konusu meşcere tipleri en iyi toprak koruma performansını göstermektedirler. Bu bulguyu destekleyen birçok çalışma mevcuttur. Örneğin Kalıpsız (1982), erozyonu önleme fonksiyonlu ormanlarda tabakalı bir orman yapısının arzu edildiğini belirtmektedir ki, değişik yaşlı seçme ormanlarının yapısal özellikleri tam da buna uygundur. Diğer taraftan 298 sayılı silvikültür tebliğinde de erozyonu önleme fonksiyonu gören ormanların kesintiye uğratılmadan devam ettirilmesi önerilmektedir (OGM, 2014c). Seçme kuruluşlarda alana dayalı değil, ağaca dayalı işletmecilik yapıldığından meşcere kuruluşu devamlı korunarak bu koşul sağlanabilmektedir (Asan, 2013a). Yine aynı tebliğde, ağaç türünün biyolojisi izin verdiği ölçüde karışık meşcerelerin kurulması önerilmektedir (OGM, 2014c). Ek-9'dan da görülebileceği gibi, birden çok ağaç türünün karışıma girdiği meşcereler C-faktörü yönünden genellikle üst sıralarda yer almaktadır. Savaşan (1999) ise toprak koruma fonksiyonunun ana amaç olduğu alanlarda derin kök sistemi geliştiren ağaç türlerinin kullanımına vurgu yapmaktadır ki, Ek-9'da ilk iki sırada yer alan meşcere tipleri Göknar hakimiyetindeki ormanlardan oluşmaktadır. Bilindiği gibi Göknar türü kazık kök yapısına sahiptir. Son olarak Asan ve Şengönül (1988); *"toprağın her katmanını ağ gibi saran kök yapıları ile büyük ve stabil göğüs yüzeylerinden ötürü değişik yaşlı ormanların toprak koruma açısından aynı yaşlı ormanlardan daha etkili olduğunu"*

(s. 93) belirtmişlerdir (Asan, 2013a). Ek-9'da toprak koruma performansı yönünden meşcere tipleri itibariyle yapılan sıralamada da benzer bir yapının ortaya çıktığı görülebilir.

Ek-9'da en yüksek C-faktörü değerlerine sahip olan, diğer bir ifadeyle toprak koruma performansı en düşük olan meşcere tipleri ise aktif erozyon gözlenen mera sahaları, taşlık ve kayalık alanlar, aktif erozyon sahaları, taşlık alanda bulunan orman toprağı sahaları (OT-T) ve erozyon sahasında bulunan boşluklu kapalı meşcerelerdir. Örneğin; Veliköy'deki BÇs-E meşcerelerinin ortalama C-faktörü değeri 0,146 olarak bulunmuştur. Balcı (1996) da gevşek kapalı meşcereler için 0,200 değerinin kullanılmasının mümkün olduğunu belirtmektedir. Mera ve OT sahalarının ortalama C-faktörleri ise sırasıyla 0,068 ve 0,026'dır. Kimi çalışmalarda bir arada değerlendirilen bu iki meşcere tipinden OT'nin meradan yaklaşık 3 kat daha güçlü toprak koruma performansı göstermesinin nedeni, orman toprağı içerisindeki yüksek organik madde miktarıyla açıklanabilir. Diğer bir açıklama ise OT sahalarının etrafının verimli ormanlarla kaplı olması ve böylelikle çevreden gelen yüzeysel akışın azalmasıdır. Sonuç olarak, OT sahaları ister meralarla beraber ister ayrı değerlendirilsin, Veliköy PB'nde ulaşılan bu değerler Renard ve ark. (1997)'nın derlediği ortalama değer olan 0,04'e yakındır.

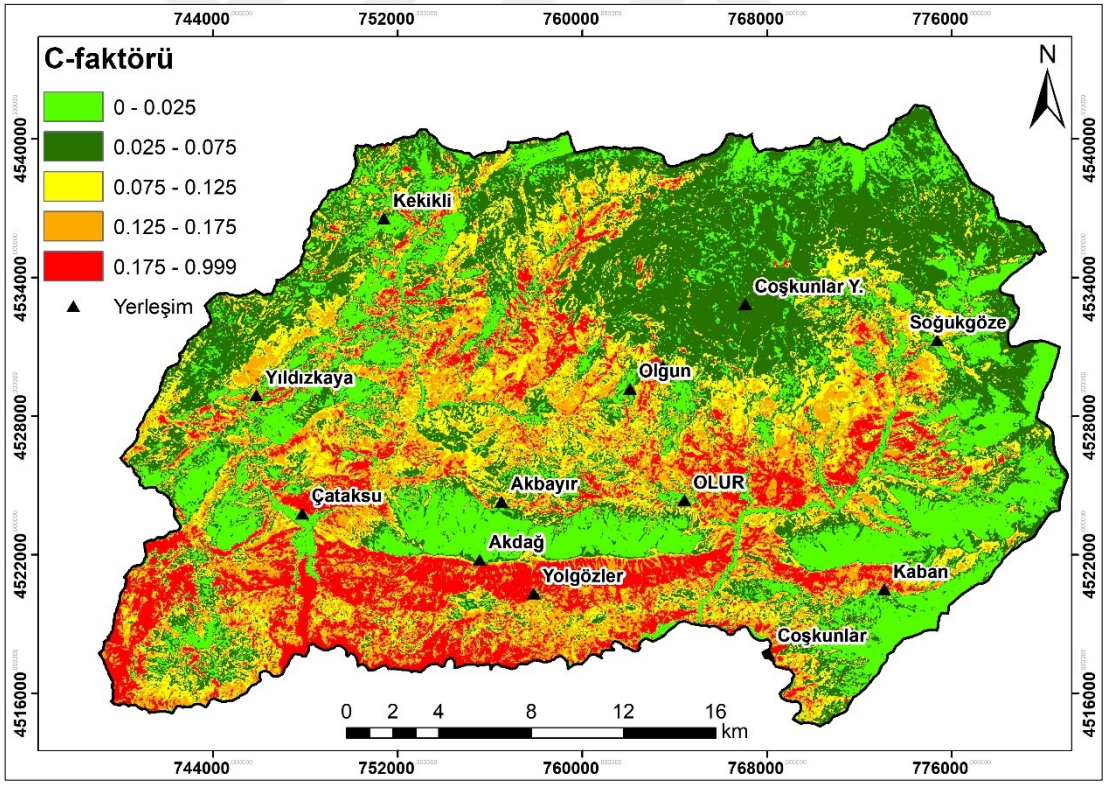
Ek-9'da literatürle uyumsuzluk gösteren bazı hususlar da vardır. Örneğin; Veliköy'de bulunan gençlik ve sırıklık−direklik çağındaki bazı yapraklı meşcerelerin oldukça iyi toprak koruma performansı göstererek listenin üst sıralarında yer aldıkları görülmektedir. Oysa Renard ve ark. (1997)'nın çoğunluğu ABD'de yapılmış 100'lerce çalışmadan derlediği bulgulara bakılırsa, geniş yapraklı ormanların iğne yapraklı ormanlara nazaran toprağı üç kat daha zayıf korudukları anlaşılmaktadır. Çünkü geniş yapraklı ormanlar kış döneminde yapraklarını dökerek toprak yüzeyini yağışın aşındırıcı etkisine karşı aylarca korumasız bırakmaktadırlar. Fakat uzaktan algılama yöntemiyle NDVI'a dayalı olarak üretilen C-faktörü haritalarında genellikle vejetasyon periyodunda alınmış tek bir görüntü kullanılmakta, dolayısıyla geniş yapraklı ormanların yapraksız olduğu dönemler göz ardı edilmektedir. Öte yandan, yapraksız dönemde canlı bitki örtüsünden yoksun kalan orman sahalarının kısmen karla kaplı olabileceği de unutulmamalıdır. Bu durum Vatandaşlar ve Yavuz (2017)'da

etraflı bir şekilde tartışıldığı gibi söz konusu yaklaşımın en önemli handikaplarından bir tanesidir. Bu konuda Schmidt ve ark. (2018)'nın İsviçre'de yaptığı gibi 10 günlük periyotlarla görüntü temin ederek bir yılın 36 ayrı görüntü ile temsil edildiği çalışmalara rastlansa da, bu tez çalışmasında kullanılan çok yüksek çözünürlüklü görüntüleri Türkiye'de o sıklıkta temin etmek çok zor olduğu için tek bir görüntü ile yetinilmiştir. Fakat hem Veliköy hem de Olur PB'lerindeki orman varlığının ezici çoğunluğu iğne yapraklı meşcerelerden oluşmaktadır. Bu nedenle, söz konusu kısıtın sonuç üzerinde çok fazla etkili olmayacağı düşünülmektedir.

Olur Planlama Birimi için bir önceki bölümde geliştirilen lojistik model ile üretilen C-faktörü haritası Şekil 51'de gösterilmiştir. Olur PB bir bütün olarak değerlendirildiğinde Akdağ güneyinde kalan çıplak yamaçların çok yüksek C-faktörü değerleriyle ve kırmızı renkle temsil edildiği görülmektedir. Bu durum söz konusu alanlardaki toprak korunmasının yok denecek kadar az olduğunu göstermektedir. Arazi gözlemleri neticesinde de bu alanların aktif erozyon sahalarından oluştuğu ve meşcere haritalarında BDy-E ya da OT-E rumuzlarıyla temsil edildikleri görülmüştür. Buralarda sık sık derin oyuntu ve yüzeysel kaymalara rastlanmaktadır. Diğer taraftan, çalışma alanının en güneyinde ve orta kesimlerde de kırmızı alanlar yer almaktadır. Bu alanlar genellikle toprağın tamamen çıplak kaldığı ya da anakayanın zamanla açığa çıktığı yerlerdir. Söz konusu alanların bol ve ani yağış ya da yüksek eğim gibi olumsuzluklara sahip olması halinde, erozyonun şiddetli yaşanacağı potansiyel alanlardan olacağı tahmin edilebilir. Haritadaki sarı ve turuncu kesimler ise genellikle orman dışı OT, verimsiz mera ve kuru tarım yapılan ziraat alanlarını göstermektedir. Söz konusu meraların büyük kısmı bölgedeki kuraklık nedeniyle bozuk vasıftadır. Ancak en kuzeyde görülen koyu yeşil renkli kesimlerde yer alan meralar yüksek rakım nedeniyle yeterli yağış alabilmekte ve dolayısıyla verimli bir yapı gösterebilmektedirler. Üst kesimlerdeki ot verimliliğinin diğer nedenleri ise; buradaki meraların kısmen korunarak aşırı otlatmanın önlenmesi ve kısmen de sahaya erişimin zor olmasıdır.

Akdağ silsilesinin kuzey yamaçlarında yoğunlaşan açık yeşil renkli kesimler blok haldeki normal kapalı Sarıçam ormanlarıdır. Bu kesimlerde toprağın korunması çok iyi olup dağ eteğine doğru inildikçe –ökseotu kaynaklı kurumaların da etkisiyle–

koruma performansı düşmektedir. Nitekim açık yeşil renkli kesimlerin çevresinin genellikle koyu yeşil renkle çevrelenmesi buna işaret etmektedir. Bunun dışında çok düşük C-faktörüne sahip alanlara Olur'un batısında dağınık vaziyette de rastlanmaktadır. Açık yeşil renkle temsil edilen bu kesimler, zaman içerisinde parçalanmaya uğrayarak etrafından izole olmuş saf Sarıçam ormanlarıdır. Arazi çalışmaları boyunca en zor ulaşılabilen ve genellikle sarp arazi üzerinde bulunan bu alanlar geçmişten günümüze korunabilmiştir. Haritada dikkat çeken diğer belirgin yapı ise Olur'un doğu tarafında kuzey−güney istikametinde görülebilen yeşil hattır. Bu hat; Alabalık Deresi ve devamında Olur Çayı boyunca uzanan sulu tarım alanları ve dere kenarı zonunda bulunan canlı vejetasyonu temsil etmektedir. Hat boyunca yılın her döneminde su olduğu için bölgedeki genel kuraklıktan etkilenmeyen bu alanlar, sediment tuzağı görevi de üstlenerek çıplak yamaçlardan gelen malzemenin su kaynaklarına ulaşmasını engellemektedir. Dolayısıyla korunmalıdır.



Şekil 51. Olur Planlama Birimi C-faktörü haritası

Olur PB'nin C-faktörü haritasına ait özet istatistikler Tablo 33'te sunulmuştur. Tablo incelendiğinde, C-faktörü haritasındaki değerlerin 0 ile 0,999 arasında değişmekte olup, ortalamasının 0,091 olduğu görülmektedir. Standart sapma değeri de ortalama

değere oldukça yakındır. Bu değerler Veliköy'ünkiler ile karşılaştırıldığında Olur'un çok daha yüksek ortalamaya sahip olduğu, yani buradaki toprağın Veliköy'e göre yaklaşık iki kat daha az korunduğu anlaşılmaktadır. Olur PB'ndeki zayıf bitki örtüsü ve arazi tahribatı bu sonuçta rol oynamıştır. Hatta Veliköy ve Olur'un C-faktör ortalamaları arasında daha büyük farklılıklar bile beklenebilir. Çünkü Veliköy PB'ndeki bitki örtüsü Olur'dakinden çok daha yaygın ve kuvvetlidir. Ancak bir önceki kısımda tartışıldığı gibi, Veliköy'e ait görüntü üzerinde bulunan kısmi kar örtüsü iki çalışma alanı ortalaması arasındaki farkın daha fazla açılmasını engellemiş olabilir. Bu durum AKAÖ ve meşcere tipleri itibariyle yapılan karşılaştırmalarla da ortaya konmuştur (Tablo 34). Farkın daha fazla açılmasına engel olan diğer bir etmen ise, iki alana ait ortofotoların değişik tarihlerde alınmış olmasından kaynaklanabilir. Bu durumda sahadaki mevcut bitki örtüsünün vejetasyon periyodunun başı, ortası ve sonundaki canlılık ve kuruma oranları değişeceğinden NDVI haritalarına yansımaları da farklılık arz edecektir. NDVI tabanlı C-faktörü haritalama yönteminin diğer bir dezavantajı da budur (Vatandaşlar ve Yavuz, 2017). Bunun önüne geçmek için yılın 12 ayına ait NDVI yüzeyleri türetilerek bunların ortalamaları alınabilir. Ancak, özellikle toplam yağış miktarında yıldan yıla olan değişimler ayrı bir sorun teşkil edecektir.

Olur PB'nin C-faktörü haritası, bölgede daha önce yapılmış olan çalışmalardakinden biraz daha düşük ortalama değere sahiptir. Vatandaşlar ve Yavuz (2017) Tortum−Kuzey Mikrohavzası'nda gerçekleştirdikleri çalışmada ürettikleri kübik model ile ortalama C-faktörünü 0,144 olarak bulmuşlardır. Aradaki farkın iki çalışma alanı arasındaki arazi kullanım farklılıklarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Nitekim, Olur PB'ndeki ormanlık alanın (normal+boşluklu kapalı) toplam alana oranı %35,5 iken, aynı oran Tortum−Kuzey Mikrohavzası'nda yalnızca %13,3'tür. Dolayısıyla iki çalışma alanı arasında orman varlığı açısından yaklaşık üç kat fark bulunmaktadır. Yusufeli Mikrohavzası'nda yapılan bir diğer çalışmada ise ortalama C-faktörü 0,160 olarak bulunmuştur (Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016). C-faktörünün nispeten yüksek bulunması, Yusufeli'nde oldukça yaygın olan kayalık alanlar ve burada bulunan meralardaki yüksek otlatma baskısı ile açıklanabilir. Nitekim, aynı araştırmacılar Yusufeli'ndeki Bakırtepe, Çeltikdüzü ve Alanbaşı köylerine ait meraların aşırı hayvan otlatma yüzünden risk altında olduğunu bildirmişler ve

otlatmanın kontrol altına alınması gerektiğini belirtmişlerdir (Tüfekçioğlu ve ark., 2015). Olur'un meralarında yoğun otlatma baskısı bulunduğuna dair son yıllarda yapılan bir çalışmaya ise rastlanılmamıştır.

Olur PB'ndeki AKAÖ tipleri için harita üzerinden hesaplanan ortalama C-faktörü değerleri Tablo 34'te verilmiştir. Beklenildiği gibi normal kapalılıktaki ormanların en düşük C-faktörü değerine yani en yüksek toprak koruma özelliğine sahip oldukları görülmüştür. Olur'daki normal kapalı ormanların ortalama C-faktörü değeri 0,011'dir. Bu değerin Veliköy'den daha yüksek çıkması Olur'daki ormanların yapısal karakteristikleriyle ilgilidir. Nitekim, Olur'daki orman yapısı Veliköy'dekinin aksine aynı yaşlı tek katlı ve çoğunlukla saf meşcerelerden oluşmaktadır. Buradaki ormanların kapalılıkları da Veliköy'den daha düşüktür (Tablo 20). Daha önce yapılan ilgili çalışmalarda da gevşek kapalı ormanlar için kullanılan ortalama C-faktörü değeri 0,009'dur (Gül, 1998; Mısır, 2001; Karahalil, 2003; Vatandaşlar ve Yavuz, 2017). Dolayısıyla, Olur PB'ndeki normal kapalı ormanlar için hesaplanan ortalama C-faktörü değeri tutarlı görülmektedir.

Eski amenajman tebliğinde bozuk vasıfta olduğu varsayılan, günümüzde ise boşluklu kapalı olarak adlandırılan (OGM, 2017) ormanların ortalama C-faktör değeri ise 0,061 olarak bulunmuştur (Tablo 34). Bu değer beklenildiği gibi Veliköy'dekinden 1,5 kat daha yüksektir. Diğer bir ifadeyle Olur'daki boşluklu kapalı ormanların toprak koruma performansı Veliköy'dekilere nazaran 1,5 kat daha düşüktür. Bu durum aktüel kapalılıktaki farklılıklardan kaynaklanabileceği gibi, ağaç türü farklılıklarından da kaynaklanabilir. Nitekim, Olur'daki boşluklu kapalı ormanlar çoğunlukla Sarıçam ya da Ardıç türünden oluşurken, Veliköy'dekiler Ladin, Göknar ya da Sarıçamdan bazen de bunların karışımından oluşmaktadır.

Olur'daki mera ve ziraat alanları 0,09 ile aynı C-faktör ortalamasına sahiptir. Normal şartlar altında meralardaki toprak koruma performansının ziraat alanlarına göre daha yüksek olması beklenirken (Renard ve ark., 1997), Olur'daki durum daha farklıdır. Bunun nedeni; çalışma alanındaki mera arazilerinin genellikle bitki örtüsünden yoksun aktif erozyon sahalarından oluşmasıdır. Bu araziler özellikle yılın belirli dönemlerinde kısmi otlatma baskısına da uğrayınca meranın C-faktörünün ziraat alanlarınınkine

yaklaşması mümkündür. RUSLE erozyon modelini geliştiren Renard ve ark. (1997)'nın Amerika Birleşik Devletleri'ndeki meralar için önerdiği C-faktörü değeri 0,04'tür. Aradaki fark Olur'un yarıkurak iklim koşullarıyla ilişkilendirilebilir. Olur ve Veliköy PB'lerindeki ziraat alanlarının ortalama C-faktörleri arasındaki farklılık ise Olur'da kuru tarımın yaygın olmasıyla açıklanmıştır. Veliköy'de su sorunu yaşanmadığı için burada sulu tarım yapılmakta, dolayısıyla ziraat bahçelerindeki vejetasyon sürekli yeşil kalarak C-faktörünü düşürmektedir.

Tablo 34'te dikkat çeken diğer bir konu; Veliköy ve Olur'daki su kütlelerine ait C-faktörleri arasındaki büyük farklılıktır. Olur'daki su alanlarının ortalama C-faktörü Veliköy'dekinin üç katından daha fazladır. Su alanları için bu tip yüksek C-faktör değerleri buralardaki negatif NDVI değerlerinden kaynaklanmaktadır ve normal karşılanmalıdır. Esasında tuhaf olan C-faktörü değeri, Olur'da değil Veliköy'de hesaplanmıştır. Veliköy'de nispeten 0'a yakın C-faktörü hesaplanmasının nedeni; buradaki sulak alanların üzerinde yetişen sazlık vb. canlı otsu vejetasyondur. Olur'da ise durum tamamen farklıdır. Burada bataklık, sazlık vd. sulak alan bulunmadığı için görüntü üzerinden toplanan su sınıfına ait örnekler baraj rezervuarı ve ana dere üzerinden alınmıştır. Dolayısıyla bu noktalarda sadece su kütlesi bulunmakta ve herhangi bir vejetasyon kalıntısına rastlanmamaktadır.

Olur PB'ndeki meşcere tipleri için harita üzerinden hesaplanan ortalama C-faktör değerleri ise Ek-10'da verilmiştir. Tablo incelendiğinde karışık meşcereler ile normal kapalılıktaki saf Sarıçam meşcerelerinin en düşük C-faktörü değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Diğer bir ifadeyle, söz konusu meşcereler en iyi toprak koruma performansı göstermektedirler. Listede en üst sırada yer alan 10 meşcere tipinin C-faktörü değerleri 0,0019 ile 0,0036 arasında değişmektedir. Vatandaşlar ve Yavuz (2017) da Tortum Mikrohavzası'ndaki 3 kapalı meşcerelerin ort. 0,0020 C-faktörüne sahip olduklarını belirtmişlerdir. Diğer taraftan Kavak ve diğer yapraklı türlerin karışıma girdiği meşcere tiplerinin de, listenin üst sıralarına yakın yer aldıkları görülmektedir. Bunun nedeni; geniş yapraklı türlerin iğne yapraklı türlere nazaran görüntü üzerinde daha parlak bir yansıma değeri vermeleriyle ilişkilendirilmiştir. Kapalılık yönünden bakıldığında ise, 2 ve 3 kapalı meşcerelerin ön sıralarda yer aldıkları görülür ki, bu beklenilen bir durumdur (Arnoldus, 1977).

Boşluklu kapalı meşcereler ile yanan alanlar, taşlık kayalık alanlar, ziraatin yerleşim yerleriyle iç içe girdiği alanlar, su kütleleri ve taş ocaklarının ise yüksek C-faktörü değerleriyle liste sonunda yer aldıkları görülmektedir (Ek-10). Bu alanlardaki toprak koruma performansının minimum, potansiyel toprak kaybının ise maksimum olacağı tahmin edilebilir. Ek-10'da dikkat çeken hususlardan biri de; Çsd1/a meşcere tipinin oldukça iyi performans göstererek üst sıralarda yer almasıdır. Siperde gençleştirmesi devam eden bu tip meşcereler aktüelde iki katlı bir yapı oluşturduğu için toprak koruma işlevini iyi bir şekilde gerçekleştirebilmektedir. Benzer şekilde, Veliköy'de yer alan Çsd1/La3 meşceresi de üst katta orta ağaçlık çağında Sarıçam bireyleri, alt katta ise kapalılığın tam olarak oluştuğu (fırça) Ladin gençliği barındırdığı için Ek-9'da üst sıralara tırmanmıştır. Bu tip örnekler Kalıpsız (1982), Asan ve Şengönül (1988), Savaşan (1999), Asan (2013a), OGM (2014b) gibi erozyonu önleme fonksiyonu için katlı orman yapısının kurulmasını öneren literatürü destekler niteliktedir.

3.2.1.5. Toprak Koruma Önlemleri (P) Faktörü

P-faktörü haritaları, insan eliyle alınan toprak koruma önlemlerini içerdiği için ormanların erozyonu önleme fonksiyonunun sayısallaştırılmasında kullanılmamıştır. Bu nedenle P-faktörü 1 olarak alınarak, çalışma alanlarının tamamında etkisiz olduğu varsayılmıştır.

3.2.1.6. Sediment İletim Oranı ve Sediment Verimi

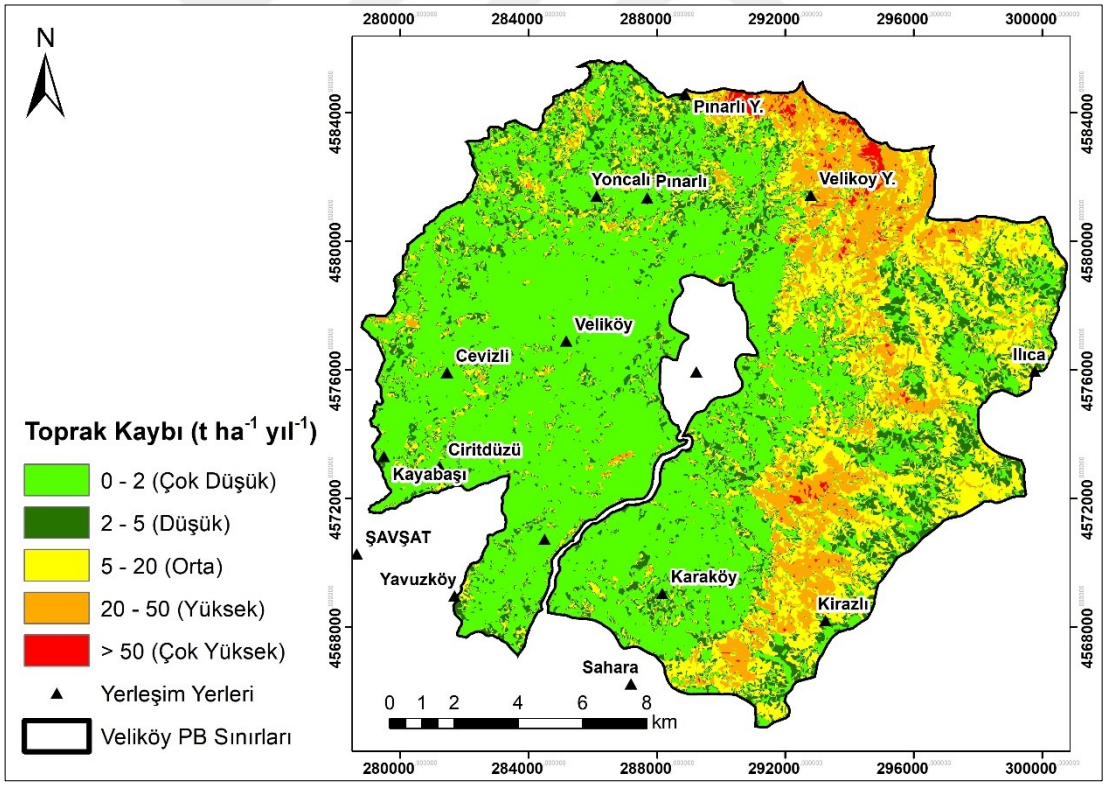
Veliköy Planlama Birimi'nin genel alan büyüklüğü 285,84 km^2 olup, daha önce yöntem bölümünde verilen Boyce (1975) formülüne göre sediment iletim oranı 0,303 olarak bulunmuştur. Diğer bir ifadeyle; Veliköy havzasında erozyon sonucu harekete geçen toplam toprak miktarının yaklaşık %30'u havzayı terk etmektedir.

*Olur Planlama Birimi'*nin genel alanı 808,64 km^2 olup, sediment iletim oranı Boyce (1975) formülüne göre 0,271 olarak bulunmuştur. Bu oranın Veliköy'de aynı formülle hesaplanan orandan biraz daha düşük çıkması normal karşılanmalıdır. Nitekim, havzanın alanı büyüdükçe sediment iletim oranı düşmektedir (Boyce, 1975; USDA, 1983). Bunun nedeni büyük havzalarda taşınan malzemenin bir kısmının kolüvyal

düzlük, çukur ve oyuntu gibi kesimlerde birikerek derelere kadar inememesidir. Diğer taraftan çok geniş havzalarda derelerin uzunluğu fazla; eğim ve debisi daha düşük olduğundan dere içerisinde askıda taşınan malzemeler dibe çökerek bulunduğu yerde kalmaktadırlar. Böylece havzanın çıkışına (mansap) kadar ulaşabilen malzemenin oranı düşmektedir (Görcelioğlu, 2003).

3.2.1.7. Yıllık Potansiyel Toprak Kaybı (A)

Veliköy Planlama Birimi için üretilen yıllık potansiyel toprak kaybı haritası Şekil 52'de gösterilmiştir. Haritadaki açık yeşil renkler toprak kaybının çok düşük olduğu alanları, koyu yeşil renkler düşük miktarda (doğal süreçlerle tolere edilebilir) toprak kaybı yaşanan alanları, sarı renkler orta derecede toprak kaybına maruz kalan alanları, turuncu renkler toprak kaybının fazla olduğu alanları, kırmızı renkler ise çok yüksek miktarlarda toprak kaybı olan alanları göstermektedir.



Şekil 52. Veliköy PB yıllık potansiyel toprak kaybı haritası

Veliköy PB yıllık potansiyel toprak kaybı haritasına ilişkin özet istatistikler Tablo 35'te sunulmuştur. Buna göre çalışma alanındaki ortalama toprak kaybı miktarı 7,8 t ha^{-1} $yıl^{-1}$, standart sapması ise 15,6 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'dır. Standart sapmanın yüksek oluşu;

toprak kayıplarının piksel hassasiyetinde hesaplanması ve bazı marjinal piksellerde 100 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'ı aşkın değerlerin bulunmasından kaynaklanmaktadır. Bu değerler genel çalışma alanı içerisinde az sayıda olmasına rağmen standart sapmayı yükseltmiştir. Dolayısıyla erozyon risk değerlendirmelerinin ortalama değerler üzerinden yapılması daha anlamlı olacaktır. Veliköy PB'nde gerçekleştiği tahmin edilen ortalama 7,8 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ toprak kaybı miktarı Çoruh Nehri Havzası içerisinde bulunan bir çalışma alanı için düşük olarak değerlendirilebilecek bir değerdir. Çünkü en son yayınlanan Türkiye Su Erozyonu Atlası'nda (Erpul ve ark., 2018) Çoruh Nehri Havzası'nın geneli için hesaplanan ortalama toprak kaybı 26,09 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ olarak raporlanmıştır. Dolayısıyla Veliköy PB'nin Çoruh Nehri Havzası'ndaki diğer mikrohavzalara nazaran erozyon açısından çok daha az riskli olduğunu ifade etmek yanlış olmaz. Başta değişik yaşlı ve sağlıklı ormanları olmak üzere çalışma alanındaki yoğun bitki örtüsünün söz konusu koruma işlevindeki kritik rolü yadsınamaz. Aslında Veliköy'de geniş kesimleri kaplayan çok yüksek rakımlı arazilere yılın önemli bir bölümünde yağış yağmur şeklinde değil kar olarak düşmektedir. Dolayısıyla karın hem toprağı aşındırıcı etkisi düşük olmakta hem de yılın 4−5 ayı boyunca toprağı bir örtü gibi örterek eroziv süreçlere karşı onu korumaktadır. Ancak, meteorolojiden temin edilen yağış verileri ve klasik RUSLE modeli, tüm yağışın yağmur şeklinde yeryüzüne ulaştığını varsaymaktadır (Renard ve ark., 1997; MGM, 2019). Bu özel durumu dikkate alarak R-faktör değerlerini hesaplayacak yeni bir yaklaşım geliştirilmelidir. Bu yaklaşımla RUSLE modelinin yeniden koşturulması halinde, Veliköy'de özellikle yüksek alanlardaki ortalama toprak kaybının biraz daha düşeceği öngörülebilir.

Çalışma alanındaki toprak kayıpları konumsal olarak değerlendirildiğinde; orta ve batı kesimlerin erozyondan en az derecede etkilenen sahalardan olduğu görülmüştür (Şekil 52). Bu sahalar hem yoğun ormanlık alanların bulunduğu hem de eğimin nispeten düşük olduğu yerlerdir. Her ne kadar Cevizli ve Veliköy yerleşim yerleri arasında yüksek eğim derecelerine rastlansa da, burada yoğunlaşan değişik yaşlı seçme ormanların toprağın erozyona uğramasına izin vermediği anlaşılmaktadır. Bu bölgenin doğuya göre nispeten düşük rakımlara (1200−1600 m) sahip olması da yağış miktarını kısmen azaltarak toprağın aşınmasını önlemiş olabilir. Diğer taraftan, çalışma alanının en doğu kesiminde kalan alanlarda da çok ciddi miktarlarda toprak kayıplarının olmadığı tahmin edilmektedir. Bu alanlar, yüksek rakım nedeniyle bol ve ani yağışlar

almasına rağmen toprağı örten verimli mera örtüsünün ve arazideki düzleşmenin potansiyel erozyonu önlediği düşünülmektedir.

Veliköy'de toprak kaybının en fazla yaşandığı alanların ise, kuzeydoğuda kalan yüksek dağ zirvelerine doğru uzanan dik yamaçlar ve güneydoğuda kalan ormandan mera ekosistemine geçiş zonu olduğu görülmüştür (Şekil 52). Özellikle kuzeydoğu kesimlerde yoğunluk kazanan kırmızı ve turuncu renkli alanlar 3000 m üzerindeki nival zonda yer almaktadır. Buralarda otsu ya da odunsu bitki örtüsü bulunmadığı gibi eğim ve yağış miktarları da oldukça yüksektir. Esasen ülkemizin Gürcistan ile sınırını oluşturan bu kesimlerde çevresel koşullar oldukça çetindir. Veliköy'ün güneydoğusunda gözlenen yüksek toprak kaybı yaşanan sahalar (turuncu−sarı ağırlıklı) ise Ardahan platolarına doğru ani yükseliş kuşağıdır. Aynı zamanda Veliköy'ün en eğimli arazileri bu bölümde bulunmaktadır (bkz. Şekil 14b). Kuşak boyunca doğuya doğru ilerledikçe orman örtüsü seyrelerek yerini meralara bırakmaktadır. Bunun yanı sıra alanda yoğun kaya formasyonları da görülmektedir. Dolayısıyla bu bölgede toprak kayıplarının artması, hem bitki örtüsü değişikliğinden hem yüksek eğim derecesinden hem de rakımdaki artış nedeniyle toplam yağış miktarının yanı sıra yağmurun eroziv etkisinin artmasından kaynaklandığı söylenebilir. Son olarak Cevizli'nin batısında ve Yoncalı'nın kuzeybatısında lokal erozyon noktaları (hotspot) bulunmaktadır. Bu alanlar meşcere haritasında OT-E, T, BL-E rumuzlarıyla gösterilen ağaçsız ya da boşluklu kapalı orman alanlarıdır ve aktif erozyon sahalarıdır. Arazi çalışmaları boyunca söz konusu sahalar da ziyaret edilerek, oyuntu ve yer yer heyelan oluşumları gözlenmiştir. Ancak, bunların lokal oluşu ve çevresinin verimli ormanlarla kaplı olması tehlikenin boyutlarını düşürmektedir.

Veliköy PB için üretilen toprak kaybı haritası aynı bölgede gerçekleştirilmiş diğer çalışmalarla konumsal olarak karşılaştırıldığında benzer sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür. Tufekcioglu ve ark. (2018), Veliköy Mikrohavzası'nda gerçekleştirdikleri çalışmada RUSLE modelini kullanarak ortalama toprak kaybını 3,89 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ olarak tahmin etmişlerdir. Aynı araştırmacıların Veliköy'deki erozyon haritasını yeni verisetleriyle güncellemeleri sonucunda ulaştıkları toprak kaybı değeri ise 4,82 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'a yükselmiştir (Yavuz ve Tüfekçioğlu, 2019). Bu tez çalışması ve ilgili literatür bulguları arasındaki farklılıklar, söz konusu araştırmacıların mikrohavza

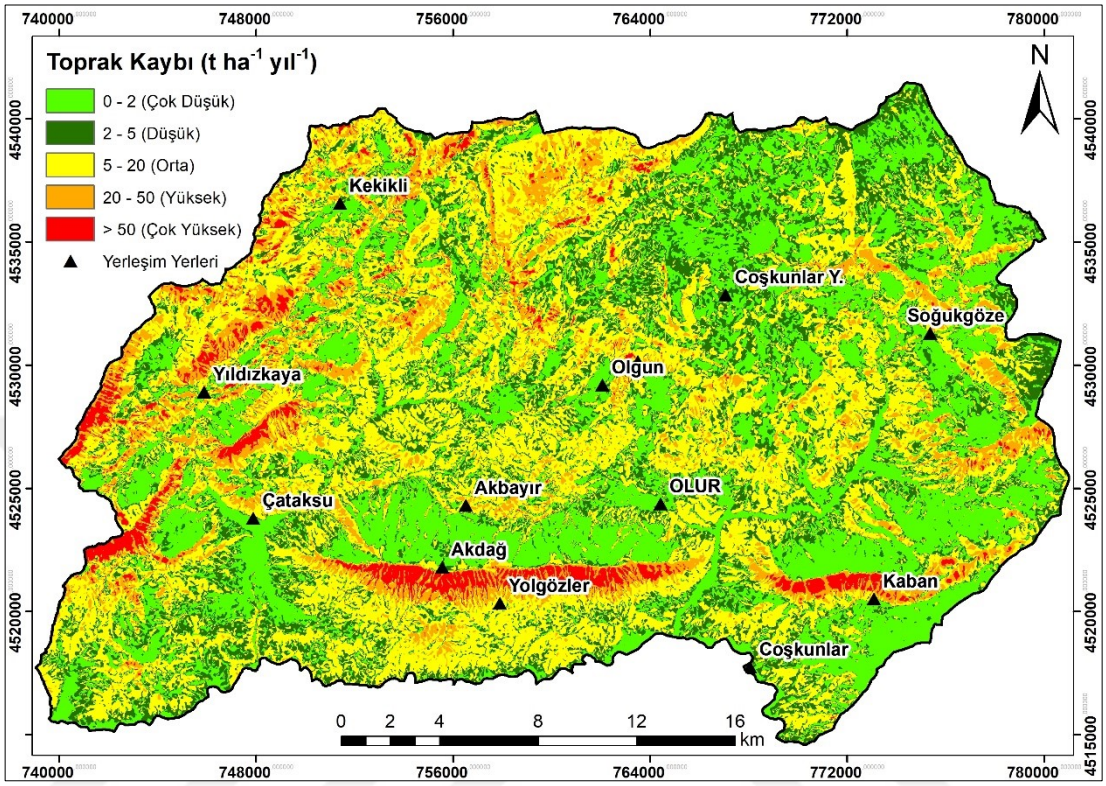
sınırları uyarınca çalışırken, bu çalışmada OİŞ sınırlarının esas alınmasıyla ilişkili olabilir. Diğer bir neden; iki çalışmada kullanılan uzaktan algılama verilerinin farklı oluşudur. Buna rağmen her iki çalışmada da toprak kayıplarının en üst seviyede yaşandığı kesimlerin üst havzadaki dik dağlık araziler olduğu anlaşılmaktadır. Gerçekten de bu kesimler eğim ve yükseklik haritalarında da en yüksek değerleri alan yerlerdendir (bkz. Şekil 13−14b).

Tablo 35. Veliköy ve Olur PB'lerinin yıllık pot. toprak kaybı istatistikleri

Çalışma alanı	Toprak kaybı miktarı (t ha^{-1} $yıl^{-1}$)			
	Min.	**Ort.**	Maks.	S
Veliköy PB	0	**7,8**	101,0	15,6
Olur PB	0	**15,8**	639,2	22,8

Olur Planlama Birimi için üretilen yıllık potansiyel toprak kaybı haritası Şekil 53'te gösterilmiştir. Çalışma alanı bir bütün olarak değerlendirildiğinde; sarı ve yeşil tonların çoğunlukta olduğu ancak bunların sıklıkla kırmızı tonlarla bölünerek parçalandığı görülmektedir. Dolayısıyla Olur PB'ndeki erozyonun alana yayılışı Veliköy'e nazaran çok daha heterojendir. Yeşil tonlardaki düşük toprak kaybı yaşanan sahalar özellikle Akdağ silsilesinin kuzey yamaçlarında, Ayvalık Barajı su toplama havzasında ve kuzeydoğudaki Coşkunlar Yaylası çevresinde yoğunlaşmıştır. Akdağ'ın kuzey yamaçlarında toprak kaybının olmaması ya da çok düşük olması, bu yamaçların oldukça eğimli olmasına rağmen yoğun orman örtüsü ile kaplı olmasından kaynaklanmaktadır. Olur'daki verimli ormanların büyük bir kısmı bu kuzeyli yamaçlarda toplanmıştır. Dolayısıyla bu ormanlar tam (3) ya da orta (2) kapalılıktaki tepe taçlarıyla başarılı bir toprak koruma performansı sergilemişlerdir. Güneybatıda bulunan Ayvalık Barajı rezervuarı ve ona su sağlayan havzadaki toprak kayıpları miktarının düşük oluşu ise buradaki bol nemli ortamla ilişkilendirilmiştir. Barajdan Çataksu'ya kadar devam eden bu elverişli ortam, o bölgede yetişen bitki örtüsünü güçlendirmiş ve bollaştırmıştır. Bu yolla toprak korumaya dolaylı fayda sağlanmıştır. Nitekim, Çataksu boyunca uzanan geniş bir tampon bölgede sulu tarım yapılmakta ve çok çeşitli çalı vejetasyonlarına da rastlanmaktadır. Çalışma alanının kuzeydoğusunda bulunan Coşkunlar Yaylası ve çevresindeki toprak kayıplarının düşüklüğü ise nispeten düşen arazi eğimi yanı sıra su noksanlığı çekmeyen sub-alpin çayırlıkların toprağı sık

şekilde örtmesiyle ilişkilendirilmiştir. Nitekim Olur'da ender rastlanan verimli meralar bu bölgede yer almaktadır.



Şekil 53. Olur PB yıllık potansiyel toprak kaybı haritası

Olur PB'nde yüksek miktarlarda toprak kaybı yaşanan kırmızı ve turuncu kesimler ise Akdağ'ın güney yamaçları başta olmak üzere havzanın batısında ve yer yer Soğukgöze çevresinde gözlenmiştir (Şekil 53). Bu kesimlerin daha çok güney yamaçlarda olduğu anlaşılmaktadır. Buradaki su noksanlığı nedeniyle bitki örtüsü için uygun bir ortam oluşamamakta dolayısıyla toprak çıplak kalmaktadır. Bu durum yüksek arazi eğimi ve kolay aşınabilir toprak yapısıyla (erodibilite) birleşince lokal olarak 20 t ha^{-1} $yıl^{-1}$, 50 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ ve daha yüksek miktarlarda toprak kayıpları kaçınılmaz olmaktadır. Soğukgöze çevresinde lokal olarak aşırı toprak kayıplarına maruz kalan bölümlerdeki durum da buna benzerdir. Şekil 53, daha önce Şekil 38'de sunulan toprak aşınımı (K-faktörü) haritasıyla birlikte değerlendirildiğinde kolay aşınabilir toprakların olduğu yerlerin yüksek toprak kaybı yaşanan sahalarla kısmen örtüştüğü anlaşılmaktadır.

Olur PB potansiyel toprak kaybı haritasına ilişkin özet istatistikler Tablo 35'te sunulmuştur. Buna göre Olur'daki ortalama toprak kaybı miktarının 15,8 t ha^{-1} $yıl^{-1}$

olduğu tahmin edilmektedir. Bu miktar nispeten düşük gibi görünmesine rağmen birçok araştırmacının tolere edilebilir toprak kaybını 5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ olarak belirttiği unutulmamalıdır (Wischmeier ve Smith, 1978; Foster ve Constantini, 1991; Morgan, 2005; Mandal ve ark., 2006). Bu miktarın üzerinde gerçekleşen toprak kayıpları kendi doğal akışında uzun yıllar içerisinde oluşan yeni toprak katmanı tarafından telafi edilememekte ve değerli toprak kaynakları zamanla yitirilmektedir. Bölgede yürütülen ÇNHRP kapsamında Olur Mikrohavzası'nın erozyon izleme ve değerlendirme çalışmaları 2019'da sona ermiştir. Bu çalışmaların sonucunu raporlayan Yavuz ve Tüfekçioğlu (2019)'na göre Olur Mikrohavzası'ndaki yüzeysel toprak kaybı ortalama 11,76 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'dır. İki değer arasındaki farklılıklar çalışma alanlarının birebir örtüşmemesi ve P-faktörü ile alakalıdır. Nitekim, ÇNHRP'nde çalışılan mikrohavza alanı 47773 ha iken Olur PB'ni oluşturan Olur OİŞ genel alanı 80864 ha'dır. Buna ilaveten ÇNHRP'nde P-faktörü sayısallaştırılarak hesaplanmış, bu çalışmada ise dikkate alınmamıştır. Araştırmacıların sahada yapılan erozyon önleyici faaliyetleri sayısallaştırarak RUSLE modeline dahil etmeleri ortalama toprak kaybı değerini doğal olarak aşağı çekmiştir. Bu çalışmada P-faktörünün 1'e eşitlenerek etkisinin yok sayılmasının nedeni; daha önce açıklandığı gibi yalnızca bitki örtüsünün rolünün ortaya çıkarılmak istenmesidir. Modellemeye P-faktörünün de dahil edilmesi halinde insan kaynaklı mekanik müdahalelerle (taş duvar, örme çit, teras vd.) azaltılan erozyon, sanki bitki örtüsünün kendi önleyici etkisiymiş gibi değerlendirilir. Bu durum orman ekosisteminin erozyonu önlemedeki rolünün abartılmasına yol açacaktır.

Bu çalışmada Olur için tahmin edilen ortalama toprak kaybı değeri Veliköy'den yüksek, Çoruh Nehri Havzası genelinden düşük çıkmıştır. Hatırlanacağı gibi Veliköy PB ve Çoruh geneli için ortalama toprak kayıpları sırasıyla 7,8 ve 26,09 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ idi. Dolayısıyla Olur'da Veliköy'dekinden yaklaşık iki kat daha fazla toprak kaybı yaşanmaktadır. İki çalışma alanının bitki örtüsü arasındaki önemli farklılıklar göz önüne alındığında bu oranın daha da fazla olması beklenebilir. Ancak, Veliköy'ün aksine Olur yarıkurak iklim kuşağında yer almakta ve oldukça düşük miktarlarda yağış almaktadır (Duman, 2017; MGM, 2019). Nitekim, daha önce Şekil 35 ve Şekil 36'da sunulan R-faktör haritaları karşılaştırmalı olarak incelendiğinde Olur'daki yağmur erozivitesinin Veliköy'e nazaran çok daha düşük olduğu görülecektir (Tablo 23). Bu olayın, Olur'daki toprak partiküllerinin yağmur suyunun çarpma etkisi ile

parçalanmasını ve yüzeysel akışa geçmesini azalttığı tahmin edilmektedir. Bu tahmini desteklemek için Olur'un R-faktörü haritası yıllık toplam 613,1 mm yağış düşen en yağışlı yıllardan 2005 baz alınarak bir kez daha hesaplanmıştır. Bu sefer tahmin edilen ortalama toprak kaybı miktarı 29,89 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'a kadar çıkmıştır. Bununla birlikte, Olur'da maksimum 613,1 mm olarak ölçülen 2005 yılındaki toplam yağış miktarı, Veliköy'ün uzun yıllar ortalaması olan 633,4 mm'ye dahi ulaşamamaktadır. Dolayısıyla Veliköy'dekine benzer bir yağış rejiminin Olur'da gerçekleşmesi halinde, buradaki toprak kayıplarının misliyle artacağı kestirilebilir. Daha yalın bir ifadeyle, Olur bölgesi yarıkurak iklim özellikleri gösterdiği için çok az yağış almakta (Duman, 2017) ve su erozyonu çok şiddetlenmemektedir. Ayrıca Olur PB'nde geçmişten beri yaşanan erozyon süreçleri birçok yerde verimli üst toprak katmanının kaybedilerek anakayanın ya da aşınabilirliğe daha dirençli olan alt toprak katmanlarının açığa çıkmasına neden olmuştur. Bu nedenle, özellikle çıplak sahalarda artık kolay taşınabilecek malzeme kalmamıştır. Bu durum K-faktör haritası ortalama değerlerinden de belli olmaktadır (Şekil 38; Tablo 24). Olur'daki nispeten düşük toprak kaybının bir nedeni de bu olabilir. Son olarak Olur'un şanslı bir yönü de yüksek rakımlı sahalarda verimli mera örtüsüne sahip iken, çıplak alanların genellikle düşük rakımlı sahalarda yoğunlaşmış oluşudur. Genel ekoloji yasalarından bilindiği gibi rakımdaki her 100 m'lik yükseliş, yağışın 54 mm artmasına neden olmaktadır (Erinç, 1996; Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016). Bu yüzden Olur'da ortalaması yalnızca 430 mm olan yıllık toplam yağışın alana yayılışı homojen olmamakta ve bunun önemli bir kısmı bitki örtüsüyle kaplı yani korunaklı mera arazilerine düşmektedir. Sayılan bu nedenlerden ve Coşkunlar Yaylası'ndaki koruma önlemlerinden ötürü, Olur PB genelindeki ortalama toprak kaybının Çoruh Nehri Havzası'nın güneyinde bulunan diğer mikrohavzalardaki gibi çok yüksek seviyelere çıkamadığı değerlendirilmiştir.

Her iki PB için genel bir değerlendirme yapıldığında; su erozyonuyla kaybolan üst toprak kaybı miktarı açısından Olur'un Veliköy'e göre çok daha sorunlu bir PB olduğu anlaşılmaktadır. Bu sorun kendini özellikle ani ve şiddetli yağışlarla çok daha fazla hissettirmektedir. Ancak, bilindiği gibi RUSLE modeliyle tahmin edilen toprak kaybı miktarları "kesin" değerler olmayıp, "potansiyel"i ifade etmektedir. Bu potansiyeller sahada kurulan erozyon parselleri ile kalibre edilmemiştir. Dolayısıyla, t ha^{-1} $yıl^{-1}$ cinsinden tahmin edilen değerlerin matematiksel kesinliğinden ziyade, erozyonun

konumsal dağılışı ve PB/AKAÖ/meşcere tiplerinin erozyon miktarları arasındaki oransallıktan söz etmek daha gerçekçi olacaktır. Bu bağlamda, erozyon riskinin alansal analizi 3.2.1.8 numaralı alt bölümde verilmiştir.

3.2.1.8. Erozyon Riskinin Alansal Analizi

Veliköy Planlama Birimi'nde gerçekleşen çeşitli şiddetlerdeki toprak kayıpları erozyon riski açısından konumsal olarak değerlendirilmiştir. Erozyon risk sınıflarının oluşturulmasında kullanılan eşik toprak kaybı değerleri belirlenirken genel olarak Morgan (2005)'in önerdiği sınıflandırma sistemine bağlı kalınmıştır. Ancak, özellikle yüksek riskli alanlarda Türkiye koşullarına özgü küçük değişiklikler yapılmıştır. Buna göre, erozyon haritalarında kullanılan beş risk sınıfına ait toprak kaybı değer aralıkları aşağıdaki gibidir;

- 0−2 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ aralığında olan alanlar erozyon açısından çok düşük riskli
- 2−5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ aralığı düşük riskli
- 5−20 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ aralığı orta derecede riskli
- 20−50 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ aralığı yüksek riskli
- 50 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ ve üzeri çok yüksek riskli.

Bu sınıflandırma sistemine göre Veliköy'deki erozyon riskinin alansal dağılımı Tablo 36'daki gibidir. Tablo 36, Veliköy PB'nin kabaca yarısında erozyon riskinin yok denecek kadar az olduğunu göstermektedir. Alanın neredeyse %40'ında düşük ve orta derecelerde erozyon riski mevcuttur. Dolayısıyla, esas önemli olan ve erozyon kontrol çalışmalarının öncelikli olarak yoğunlaştırılması gereken alanlar yaklaşık %10'luk bir kesimdir. Bu kesimlerin toplamı 3000 ha'dan biraz daha fazladır. Bir önceki bölümde sunulan Şekil 52'deki haritada turuncu ve kırmızı renkle temsil edilen bu kesimlerdeki toprak kaybı genelde 20 ve 50 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ aralığında olup, lokal olarak 100 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'a kadar tırmanabilmektedir. Tufekcioglu ve ark. (2018) da sınırları birebir örtüşmemekle birlikte aynı bölgede erozyon çalışması yürütmüşlerdir. Araştırmacılar, bu çalışmadakinin benzeri bir risk sınıflandırması yapmışlar ve Veliköy mikrohavzasının dörtte üçünde erozyon riskinin çok düşük olduğu sonucuna ulaşmışlardır. 20 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ ve üzerinde toprak kaybı yaşanan riskli alanların ise mikrohavzanın %4,1'ini

oluşturduğunu bildirmişlerdir. Tablo 36'ya göre iki çalışmanın bulguları arasında önemli bir uyuşmazlık bulunmadığı anlaşılmıştır.

Tablo 36. Veliköy ve Olur PB'lerindeki erozyon riskinin alana dağılımı

Çalışma alanı	Erozyon riski	Alan (ha)	Genel alana oranı (%)
Veliköy PB	Çok düşük	14543,5	50,88
	Düşük	5136,5	17,97
	Orta	5693,9	19,92
	Yüksek	2824,1	9,88
	Çok yüksek	386,0	1,35
Olur PB	Çok düşük	23119,0	28,59
	Düşük	18671,5	23,09
	Orta	27647,4	34,19
	Yüksek	8652,5	10,70
	Çok yüksek	2773,6	3,43

Bu veriler ışığında Veliköy PB'nin genel durumu değerlendirildiğinde; alanda çok ciddi bir erozyon problemi görülmemektedir. Ancak, özellikle doğu kesimde kalan sub-alpin çayırlıklarda lokal olarak gözlenen derin yarık, yüzey erozyonu ve taş akmalarına dikkat edilmelidir. Bu alanlar genel alan içerisinde küçük bir oran teşkil etmesine rağmen zaman içerisinde derinleşebilir ya da oyuntuların uzunlukları büyüyebilir. Çünkü söz konusu alanlar 2000−2700 m arasında kalan yükselti kuşağında yer almaktadırlar (Şekil 13). Dolayısıyla bu kuşakta ani ve çok şiddetli yağışların sıklıkla yaşanabileceği unutulmamalıdır. Bu yağışlar şu an için kısıtlı risk üretebilen erozyon süreçlerini zamanla hızlandırarak bunların orta ve alt havzaya olan olumsuz etkilerini arttırabilir. Veliköy'de bu sahaların düşük eğim sınıfında yer alması erozyonla mücadele edecek kurum ve kuruluşlar için bir fırsat olarak değerlendirilmelidir. Çünkü özellikle mekanik faaliyetler başta olmak üzere diğer mücadele teknikleri sahada kolaylıkla aplike edilebilir.

Olur Planlama Birimi'ndeki erozyon riskinin alana dağılımı Tablo 36'daki gibidir. Buna göre Olur'un üçte birinden fazlasında orta derecede (5−20 t ha^{-1} $yıl^{-1}$) erozyon riski yaşanmaktadır. Bu alanlarda gerçekleşen toprak kayıpları tolere edilebilir eşik

değer olan 5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'ın üzerine çıktığı için önemsenmelidir (Wischmeier ve Smith, 1978; Foster ve Constantini, 1991; Morgan, 2005; Mandal ve ark., 2006). Orta derecede riskli alanları %28,59 ve %23,09 ile sırasıyla erozyon riskinin olmadığı (0−2 t ha^{-1} $yıl^{-1}$) ve düşük olduğu (2−5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$) alanlar izlemektedir. Genel alanın yaklaşık %10'unda ise yüksek derecede (20−50 t ha^{-1} $yıl^{-1}$) erozyon riski mevcuttur. Toprak kaybının 50 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ üstüne çıktığı çok yüksek riskli marjinal sahalar ise yalnızca %3,43'lük alan kaplamaktadırlar. Orta, yüksek ve çok yüksek riskli alanların genel alana oranları toplandığında Olur'un yaklaşık olarak yarısında aktif erozyon tehlikesinin bulunduğu anlaşılmaktadır. Planlama Birimi'nin genel alanının oldukça büyük olduğu (80864 ha) düşünüldüğünde durumun ciddiyeti bir kat daha artmaktadır. Çünkü 40000 ha'a varan geniş sahalarda erozyonla mücadele faaliyeti yürütmek ilgili kurum ve kuruluşlara oldukça ağır yükler yükleyecektir. Normal şartlar altında öncelik yüksek ve çok yüksek riskli alanlara verilmelidir. Ancak söz konusu alanlar Veliköy'ün aksine oldukça dik ve yamaç arazilerde toplanmışlardır. Özellikle Akdağ'ın ve Ziyaret Dağı'nın güney yamaçları riskli alanların önemli bir kısmını içermektedir. Bu yamaçlarda çalışmak oldukça zor ve tehlikeli olmasına rağmen arazi çalışmaları sırasında ÇNHRP kapsamında yürütülen teraslama ve Sarıçam ağaçlandırması faaliyetlerine rastlanmıştır. İlerleyen yıllarda fidanların tutma başarısının ne oranda olacağı merak konusudur. Çünkü çok yüksek eğim dolayısıyla dağın eteklerine yukarıdan sürekli malzeme gelmektedir. Ayrıca buradaki toprak derinliği de oldukça azdır. Bu nedenle, bir önceki bölümde Şekil 53'te sunulan yıllık toprak kaybı haritasında sınırlı bir yer kaplayan kırmızı renkli çok yüksek riskli alanlar gözden çıkarılarak, daha geniş alanlara yayılan ve çalışma koşullarının daha elverişli olduğu sarı renkli (orta derecede riskli) alanlara yoğunlaşılabilir. Böylelikle orta risk sınıfında bulunan kısımların arazi tahribatı dengelenerek bu alanların da zaman içinde kaybedilmesinin önüne geçilebilir. Nitekim, arazi tahribatının tamamen gerçekleşmiş olduğu sahaların geri kazanılması oldukça zor ve hatta bazen imkansızdır (Ankara Initiative, 2015; ÇEM, 2017).

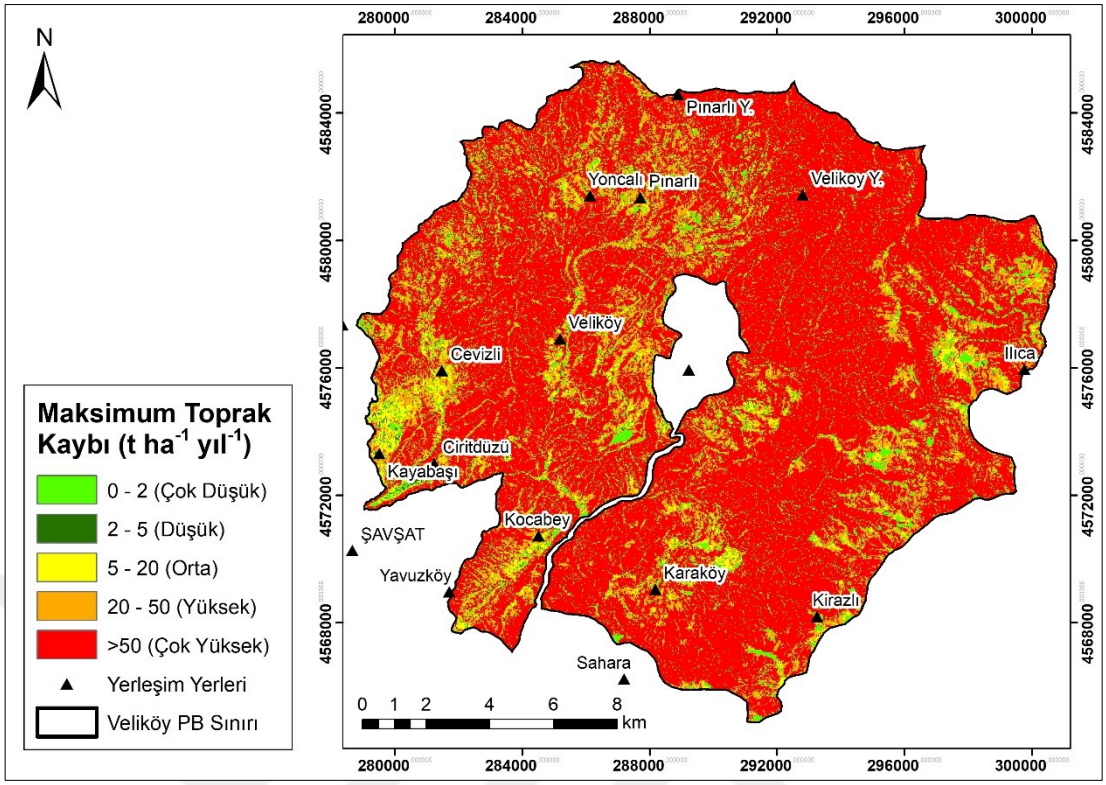
3.2.2. Sahadaki Maksimum Erozyon (Senaryo 1)

Veliköy Planlama Birimi'nde sahada hiç bitki örtüsünün bulunmadığı *hipotetik durum*da (Senaryo 1) gerçekleşebilecek maksimum toprak kaybı haritası Şekil 54'te

gösterilmiştir. Bu harita, ormanların erozyonu önleme kapasitesini de şekillendirmektedir. Nitekim, daha önce Eşitlik 24'te sunulan TKPİ formülünün paydasındaki x, bu haritadan gelen verilerden oluşmaktadır. Şekil 54'te tıpkı yıllık potansiyel toprak kaybı haritalarında (Şekil 52−53) olduğu gibi renklenme açık yeşilden kırmızıya doğru gittikçe piksel ölçeğindeki toprak kaybı miktarı 0'dan yaklaşık 22 bin t ha^{-1} $yıl^{-1}$'a kadar artmaktadır. Çalışma alanı bir bütün olarak değerlendirildiğinde; kırmızı renklerin hakimiyeti göze çarpmaktadır. Diğer bir ifadeyle, Veliköy'de bitki örtüsü bulunmaması durumunda (Senaryo 1) alanın %72,18'inde çok yüksek miktarlarda toprak kayıpları yaşanacaktır (Tablo 37). Bu oran, daha önce yani bitki örtüsünün bulunduğu *mevcut durum*da (Senaryo 2) yalnızca %1,35 idi (Tablo 36). Erozyon riskinin çok düşük olduğu açık yeşil renkli alanlar ise %50,88'den %10,32'ye gerilemiştir (Tablo 36−37). Şekil 54'te görülen bu alanlar ağırlıkla düz veya düze yakın eğimdeki araziler ile su kütleleri ve dağ sırtlarından oluşmaktadır. Söz konusu alanlarda herhangi bir bitki olmasa dahi ciddi bir toprak kaybının yaşanmayacağı anlaşılmaktadır. Veliköy PB'nin tamamında maksimum erozyon oluşması durumunda meydana gelecek toprak kayıplarının (x) ortalaması ise 199,9 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'dır (Tablo 38). Bu değer, ort. 7,8 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'lık potansiyel toprak kaybı (z) ile birlikte düşünüldüğünde, Veliköy'deki tüm bitki örtüsünün kaldırılması halinde alandaki toprak kaybının yaklaşık 25 kat artacağını ortaya koymaktadır.

Tablo 37. Veliköy ve Olur PB'lerinde bitki örtüsü olmaması durumunda oluşabilecek erozyon riskinin alana dağılımı

Çalışma alanı	Maksimum toprak kaybı (t ha^{-1} $yıl^{-1}$)	Erozyon riski	Alan (ha)	Genel alana oranı (%)
Veliköy PB	0−2	Çok düşük	2949,9	10,32
	2−5	Düşük	102,9	0,36
	5−20	Orta	1189,1	4,16
	20−50	Yüksek	3710,2	12,98
	>50	Çok yüksek	20631,9	72,18
Olur PB	0−2	Çok düşük	1746,7	2,16
	2−5	Düşük	1043,1	1,29
	5−20	Orta	7544,6	9,33
	20−50	Yüksek	15954,5	19,73
	>50	Çok yüksek	54575,1	67,49



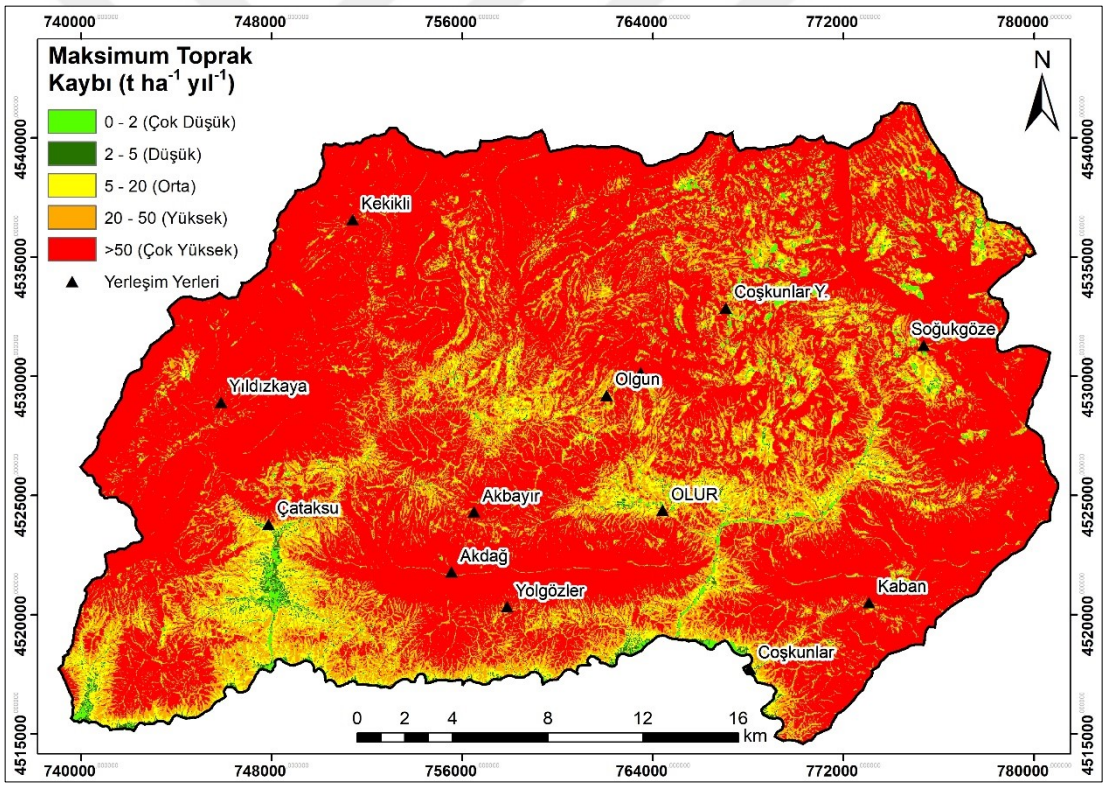
Şekil 54. Bitki örtüsünün olmadığı Senaryo 1'de Veliköy PB'nde gerçekleşebilecek maksimum toprak kaybı haritası

Tablo 38. Veliköy ve Olur PB'lerinde oluşabilecek maksimum toprak kayıplarına ait istatistikler

Çalışma alanı	Toprak kaybı miktarı (x; t ha^{-1} yıl^{-1})			
	Min.	**Ort.**	Maks.	S
Veliköy PB	0	**199,9**	21997,7	361,6
Olur PB	0	**141,2**	3518,9	145,7

Olur Planlama Birimi'nde sahada hiç bitki örtüsünün bulunmadığı *hipotetik durum*da (Senaryo 1), gerçekleşebilecek maksimum toprak kaybı haritası Şekil 55'te gösterilmiştir. Genel alanda kırmızı renkler hakimdir. Bu durum Olur'da bitki örtüsünün bulunmaması halinde (Senaryo 1) PB'nin yaklaşık %70'inde 50 t ha^{-1} yıl^{-1} ve üstü toprak kaybı yaşanacağının göstergesidir (Tablo 37). Bu oran, daha önce yani bitki örtüsünün bulunduğu *mevcut durum*da (Senaryo 2) yalnızca %3,43 idi (Tablo 36). Erozyon riskinin olmadığı açık yeşil renkli alanlar ise %28,59'dan %2,16'ya gerilemiştir (Tablo 36−37). Genel alanın yaklaşık %2'sini oluşturan risksiz alanların Çataksu, Olurdere ve yüksek kesimlerdeki sub-alpin çayırlıklarda bulundukları

görülmektedir (Şekil 55). Bu alanların ortak özelliği düz ya da çok düşük eğimli olmasıdır. Dolayısıyla mevcut topografya ve toprak yapısı bitki örtüsü olmasa bile erozyona yol açmamaktadır. Olur PB'nde maksimum erozyon oluşması durumunda meydana gelecek toprak kayıplarının ortalaması ise 141,2 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'dır (Tablo 38). Bu miktar önceki bölümlerde hesaplanan *mevcut durum*da (Senaryo 2) 15,8 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ idi (Tablo 35). Bu nedenle, Olur'daki tüm bitki örtüsünün kaldırılması halinde alandaki toprak kaybının yaklaşık 9 kat artacağı tahmin edilebilir. Diğer yandan, Olur'daki maksimum toprak kayıplarının Veliköy'deki kadar yüksek seviyelere çıkamadığı görülmektedir (Tablo 38). Bunun nedeni; Olur'da erozyonu tetikleyen yağış faktörünün (R) yarıkurak iklim koşulları nedeniyle oldukça düşük oluşudur.



Şekil 55. Bitki örtüsünün olmadığı Senaryo 1'de Olur PB'nde gerçekleşebilecek maksimum toprak kaybı haritası

3.3. Erozyonu Önleme Fonksiyonuna İlişkin Bulgular

3.3.1. Sahada Önlenen Erozyon (Senaryo 2)

Veliköy Planlama Birimi'nde bitki örtüsü tarafından yerinde tutulan yani önlenen toprak kayıplarının konumsal dağılımı Şekil 56'daki gibidir. Buna göre, Veliköy PB'nin *mevcut durum*unda (Senaryo 2) yer alan orman, mera vd. ekosistemlerin sağladığı erozyonu önleme fonksiyonu sayesinde, yerinde tutulan toprak (y) miktarı ortalama olarak 192,1 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'dır (Tablo 39). Bu miktarın PB genel alanıyla çarpılmasıyla Veliköy'de bir yıl içerisinde önlenen toplam potansiyel toprak kaybına ulaşılır ki bu değer yaklaşık 5,49 Mt'dur. Bu toprak kaybının neredeyse yarısı (2,59 Mt) yalnızca orman ekosistemi tarafından önlenmektedir. Bu miktara ormanın erozyonu önleme fonksiyonu sayesinde yıllık olarak azaltılan erozyon da denilebilir.

Şekil 56'daki haritanın rengi kırmızıdan (düşük düzey) yeşile (yüksek düzey) doğru değişmektedir. Sarı renkli alanlar erozyonu önleme fonksiyonunun orta düzeylerde sağlandığı yerleri göstermektedir. Şekil 56, Veliköy'ün diğer haritalarıyla karşılaştırmalı olarak bir bütün halinde değerlendirildiğinde; erozyonu önleme fonksiyonunun yüksek düzeylerde sağlandığı sahaların doğu kesimde kuzey−güney yönünde uzanan kuşakta yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Bu kuşak; 2000−3000 m rakım aralığında yer alan, genellikle %90 ve üzeri eğime sahip ve amenajman planlarında doğa koruma fonksiyonuna ayrılmış alanlardan oluşmaktadır. Buralarda tutulan toprak miktarı yaklaşık 500 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'dan başlayıp, piksel ölçeğinde 4000 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'ın üzerine çıkabilmektedir. Roces-Diaz ve ark. (2018)'nın Katalonya'da yapmış oldukları çalışmada da buna benzer bir sonuç çıkmıştır. Araştırmacılar erozyon kontrol fonksiyonunu sayısallaştırmışlar ve en yüksek değerlerin genellikle dağlık alanlardan sağlandığını ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar Pirene Dağları'nda yer alan bu yüksek değerlerin aynı zamanda biyoçeşitlilik fonksiyonuyla da pozitif korelasyon içerisinde olduğunu göstererek orman ekosisteminin önemine vurgu yapmışlardır. Şekil 56'da yeşil kuşağın içerisinde görülebilen çizgisel kırmızılıklar dağların sırtlarını ya da vadi tabanındaki ana dereleri temsil etmektedir. Buralardaki sahalar düzleştiği için bitki örtüsü olmasa dahi şiddetli toprak kaybı yaşanmamakta, dolayısıyla bitki örtüsünün erozyonu önleme fonksiyonu düşmektedir. Çoğunlukla verimli orman ve mera vejetasyonuna sahip olan yeşil kuşağın orman amenajman planlarında doğa

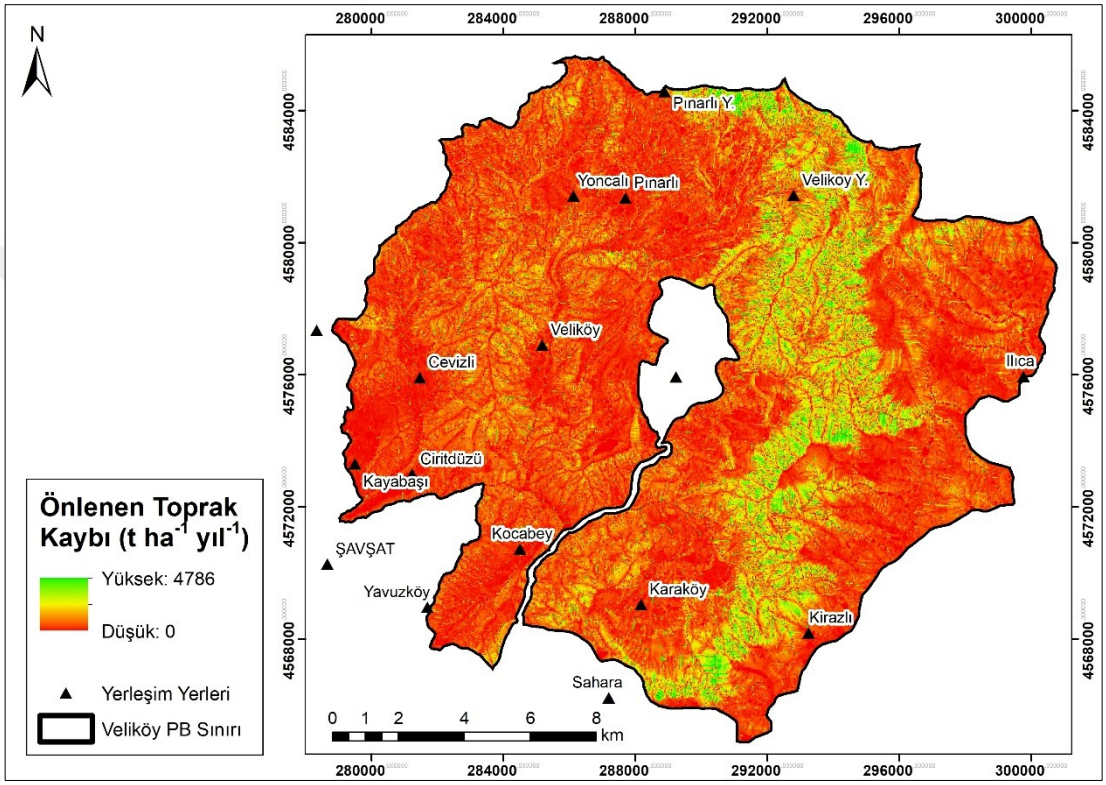
koruma fonksiyonuna ayrılmış olması yerinde bir karardır. Buradaki orman örtüsünün üretim ya da bakım gibi silvikültürel müdahaleler ile zayıflatılması sonucunda oluşacak toprak kayıpları Veliköy PB'ndeki diğer alanlardan çok daha fazla olacaktır. Daha önce sunulan Şekil 54'teki maksimum toprak kaybı haritası da bu çıkarımı doğrular niteliktedir.

Önlenen erozyonun orta düzeylerde olduğu sarımsı kesimler ise çalışma alanının batı, güney ve en doğu kesimlerinde yer almaktadır (Şekil 56). Buralardaki bitki örtüsü sayesinde tutulan toprak miktarı yaklaşık olarak 200 ile 500 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ aralığındadır. Batı ve güney kesimlerdeki toprağın tutulması ekseriyetle ormanlardaki odunsu vejetasyon tarafından sağlanırken, doğu kesimlerde meralardaki otsu vejetasyon ön plana çıkmaktadır. Söz konusu ekosistemlerin sahada bulunmaması halinde batı ve güney kesimlerdeki erozyonu tetikleyen ana faktörün eğim olduğu anlaşılmaktadır. Bunun aksine daha yüksek rakımda yer alan doğu kesimlerde ise yağış faktörü aynı rolü üstlenmektedir. Veliköy PB'nin batı ve güney kesimlerindeki ormanlarının önemli bir kısmı orman amenajman planında erozyonu önleme ya da doğayı koruma fonksiyonuna ayrılmışlardır.

Veliköy PB'nin büyük kısmını oluşturan kırmızı kesimlerde sağlanan erozyonu önleme fonksiyonu ise, diğer alanlara nazaran düşüktür. Buralarda bitki örtüsü tarafından önlenen toprak kaybı miktarı 0 ile 200 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ aralığındadır. Bu miktar diğer renklerle kıyaslandığında düşük görülebilmesine rağmen tolere edilebilir toprak kaybı miktarının ortalama 5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ olduğu unutulmamalıdır (Wischmeier ve Smith, 1978; Foster ve Constantini; 1991; Morgan, 2005; Mandal ve ark., 2006). Dolayısıyla bu kesimlerde tutulan toprak miktarı küçümsenmemelidir. Şekil 56'daki kırmızı kesimler genellikle düzlük sahalarda toplanmışlardır. Bu sahalarda hiç bitki örtüsü bulunmasa bile oluşabilecek maksimum toprak kayıpları oldukça sınırlıdır (Şekil 54). Dolayısıyla mevcut bitki örtüsünün toprak koruma kapasitesinden tam olarak yararlanılamamaktadır. Bunun yanı sıra, aktüel durumda üzerinde bitki örtüsü bulunmayan sahalarda da –ister düz ister eğimli olsun– erozyonu önleme fonksiyonu sıfırdır.

Tablo 39. Veliköy ve Olur PB'nde önlenen erozyona ilişkin istatistikler

Çalışma alanı	Önlenen toprak kaybı miktarı (y; t ha^{-1} yıl^{-1})			
	Min.	**Ort.**	Maks.	S
Veliköy PB	0	**192,1**	4786,3	353,0
Olur PB	0	**125,4**	3180,0	135,7



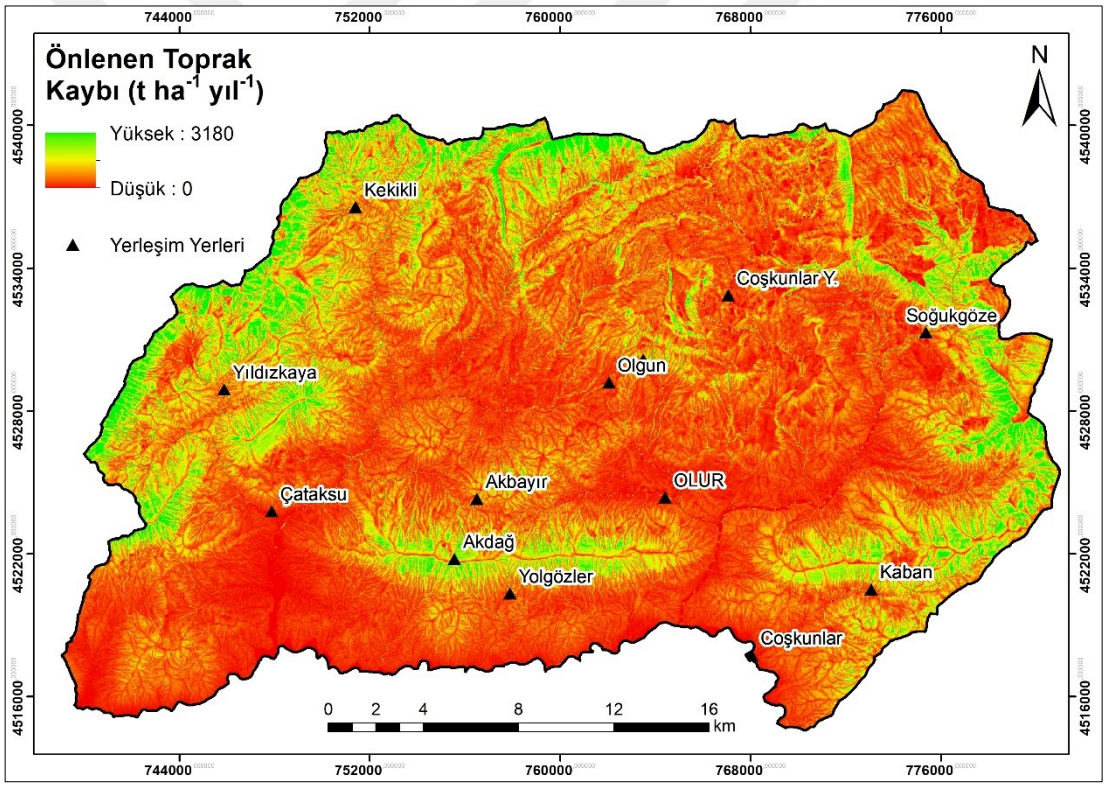
Şekil 56. Veliköy PB'nde erozyonu önleme fonksiyonunun konumsal dağılımı

Olur Planlama Birimi erozyonu önleme fonksiyonu haritası ise Şekil 57'de sunulmuştur. Olur PB'nde bulunan orman, mera vd. arazi kullanımları sayesinde birim alanda yerinde tutulan toprak miktarı ortalama olarak 125,4 t ha^{-1} yıl^{-1}'dır (Tablo 39). Çalışma alanı genelinde tüm vejetasyon ile bir yılda önlenen toprak kaybı ise toplam 10,14 Mt'dur. Bu miktarın yaklaşık yarısı (5,08 Mt) yalnızca orman ekosistemi (normal/boşluklu kapalı ve OT alanları) tarafından önlenmektedir. Dolayısıyla, Olur'daki ormanların erozyonu önleme fonksiyonu sayesinde her yıl 5,08 Mt'luk erozyon azaltılmaktadır. Olur PB'nde birim alanda önlenen toprak kayıpları Veliköy'dekinden düşük iken, tüm alanda önlenen miktarlar Veliköy'dekinin iki katından daha fazladır. Bu durum, Olur PB genel alanının Veliköy'den çok daha büyük olmasından kaynaklanmıştır.

Şekil 57, Olur'un diğer haritalarıyla karşılaştırmalı olarak incelendiğinde; erozyonu önleme fonksiyonunun yüksek olduğu sahaların Akdağ silsilesinin her iki yamacında, kuzeybatıda ve doğu kesimlerde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu kesimler genellikle –üzerindeki bitki örtüsü türünden bağımsız olarak– maksimum toprak kaybı çok yüksek olan yerlerdendir (Şekil 55). Söz konusu yerler ya orta eğim grubundaki (%30−%60) verimli ormanlık sahalar ya da yüksek (%60−%90) ve çok yüksek (>%90) eğim grubundaki orman dışı arazilerdir. Yani arazinin çıplak haldeki erozyona duyarlılığı, bitki örtüsünün erozyonu önleme fonksiyonunu da şekillendirmektedir. Bu bulgular Roces-Diaz ve ark. (2018)'nın erozyon kontrolü fonksiyonunun Pirene Dağı yamaçlarında yoğunlaştığını gösteren çalışmasıyla uyumludur. Şekil 57'de yeşille gösterilen alanlarda yerinde tutulan toprak miktarları yaklaşık 380 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'dan başlayıp piksel ölçeğinde 3180 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'a kadar çıkabilmektedir. Bu alanlardan ormanlık olanları amenajman planlarında doğayı koruma ya da erozyonu önleme fonksiyonuna ayrıldığı görülmekle beraber, özellikle Akdağ silsilesinin kuzey yamacında yer alan ormanlık sahaların üretim fonksiyonuna atandığı anlaşılmıştır. Halbuki buralarda da orta (sarı) ya da yüksek (yeşil) miktarlarda toprak kaybı engellenmektedir (Şekil 57). Dolayısıyla, odun üretimi amacıyla işletilen bu ormanlardaki üretim faaliyetleri çok dikkatli ve ılımlı bir şekilde yapılmalıdır. Buralara yapılacak şiddetli müdahaleler –tıpkı Akdağ'ın güney sırtlarında olduğu gibi– ileride aktif erozyon sahalarının oluşmasına neden olabilir.

Önlenen toprak kaybının orta düzeylerde olduğu sarı−turuncu alanlar ise, yeşil alanların etrafında, orta kesimlerde ve lokal olarak güney ve kuzey kesimlerde gözlenmektedir (Şekil 57). Buralarda erozyonla kaybolması engellenen toprak miktarı yaklaşık olarak 100 ile 380 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ aralığındadır. Dolayısıyla, buradaki bitki örtüsünün erozyonu önleme fonksiyonu da önemsenmelidir. Özellikle güneybatı, güney ve güneydoğudaki sarı renkli alanların orman amenajman planında hidrolojik fonksiyona ayrıldığı görülmüştür. Bu kararda rol oynayan ana etmenin söz konusu alanların ana dere boyunca uzanan tampon bölgede ve Ayvalı Barajı su toplama havzasında yer alması olduğu düşünülmektedir. Ancak, en azından yan fonksiyon olarak erozyonu önleme düşünülebilir.

Erozyonu önleme fonksiyonunun nispeten düşük düzeylerde sağlanabildiği sahalar ise, Şekil 57'deki haritada kırmızı renkle gösterilmiştir. Bu sahalarda önlenen toprak kaybı miktarları –bitki örtüsünün mevcudiyetine göre– 0'dan başlayıp 100 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'a kadar uzanmaktadır. Olur PB'nde erozyonu önleme fonksiyonunun düşük olduğu sahalar genellikle maksimum toprak kaybının düşük olduğu sahalarla örtüşmektedir. Özellikle çalışma alanının en güneyinde kalan kesimler bunlardandır. Bu kesimlere yarı kurak iklim koşulları ve alçak rakım nedeniyle çok az yağış düştüğünden su erozyonu tetiklenmemekte, dolayısıyla zaten zayıf kalmış olan bitki örtüsünün rolü daha da gizlenmektedir. Tıpkı Veliköy PB'nde olduğu gibi Olur PB'nde de dağ sırtları ve dere düzlükleri kırmızı renge sahiptir. Özellikle çok belirgin olan Akdağ sırtında bu durum kolaylıkla gözlenebilmektedir (Şekil 57).



Şekil 57. Olur PB'nde erozyonu önleme fonksiyonunun konumsal dağılımı

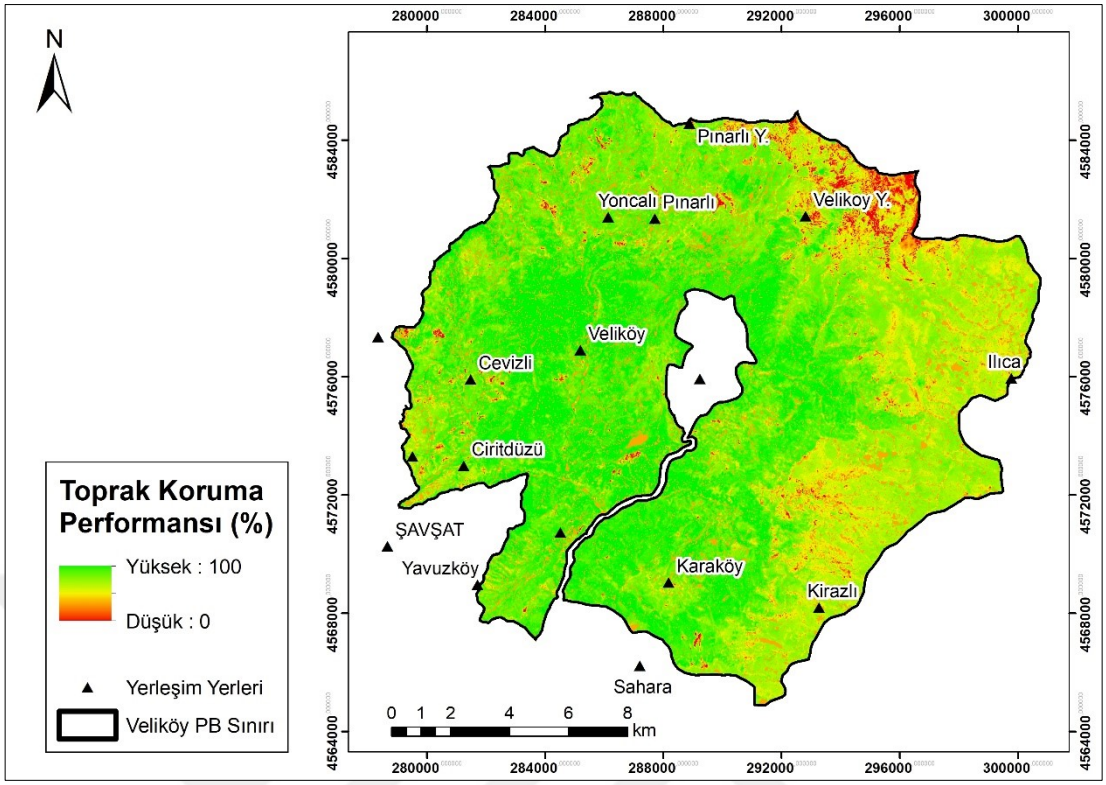
3.3.2. Toprak Koruma Performans İndisi (TKPİ) Haritaları

Veliköy Planlama Birimi'nde bitki örtüsü tarafından sağlanan toprak koruma performanslarının piksel ölçeğinde alana dağılımı Şekil 58'de haritalanmıştır. Haritadaki genel yapı, potansiyel toprak kaybı haritası (Şekil 52) ile görsel olarak

benzerlik göstermesine rağmen tamamen aynı değildir. Yer yer benzerliklerin görülmesi doğal karşılanmalıdır. Çünkü bitki örtüsünün üstün toprak koruma performansı gösteremediği (kırmızı renkli) alanlarda genellikle erozyon fazla olur. Ancak bunun istisnaları da mevcuttur. Örneğin; düşük eğimli, erozyona karşı dirençli bir toprak yapısına sahip kurak bir alandaki seyrek bitki örtüsünün toprak koruma performansı çok düşük olsa bile burada ciddi toprak kayıpları oluşmayabilir. Bunun tam tersi de geçerlidir. İşte iki harita arasındaki farklılıklar esasen bu tip olaylardan kaynaklanmaktadır. Guerra ve ark. (2014) da benzer bir noktaya temas etmişlerdir. Araştırmacılar bugüne kadar gelen yaygın inanışın aksine bir arazi örtüsü tipinin sunduğu ekosistem hizmeti kapasitesinin ondan sağlanan aktüel ekosistem hizmeti ve bu hizmet sayesinde azaltılmış erozyon miktarından konumsal ve zamansal olarak ayrışabileceğini örnek bir çalışmayla göstermişlerdir. Azaltılmış erozyonun aktüel ekosistem hizmetiymiş gibi sunulup haritalanmasının karar vericileri yanıltarak yanlış kararlar alınmasına yol açacağı yönünde uyarılarda bulunmuşlardır.

Şekil 58'de orta ve batı kesimlerdeki bitki örtüsünün üstün TKPİ sergilediği, doğu kesimlerde bu performansın orta seviyelere düştüğü ve kuzey doğu kesimde alpin ve nival zondan dolayı hiç bitki örtüsü bulunmadığı için toprak korumanın sıfırlandığı anlaşılmaktadır. Genel yapı bu şekilde olup harita içerisinde lokal değişimler pek tabii görülebililir. Esasen, Şekil 58'e benzer bir yapı daha önce sunulan NDVI haritasında da ortaya çıkmıştır. Her iki haritanın konumsal olarak benzerliği dikkat çekicidir. Dolayısıyla, üretilmesi daha zahmetli olan TKPİ haritası yerine NDVI haritasının kullanılması, buna ilaveten; meşcerelerin toprak koruma performanslarını belirlerken ön yaklaşım olarak NDVI değerlerinden yararlanılması düşünülebilir.

Veliköy PB genelinde bulunan tüm bitki örtüsünün ortalama TKPİ %80,8 olarak bulunmuştur. Guerra ve ark. (2016), Avrupa kıtası için yaptıkları çalışmada, erozyonun önlenmesi için sağlanan ekosistem hizmetinin kapasitesini 0−1 aralığında belirlemişlerdir. TKPİ'ne tekabül edeceği düşünülen bu kapasite değeri 2001 yılı için 0,815 olarak bulunmuştur. 0,815 değeri 0−100 arasına yeniden ölçeklendirildiğinde %81,5 eder. İki çalışmada bulunan sonuçların birbirine yakınlığı manidardır. Veliköy PB'nin TKPİ'leri AKAÖ tipleri itibariyle hesaplandığında, en yüksek performansın beklenildiği gibi normal kapalılıktaki ormanlardan alındığı anlaşılmaktadır (Tablo 40).



Şekil 58. Veliköy PB'nin toprak koruma performans indisi (TKPİ) haritası

Tablo 40. Çalışma alanlarına ait AKAÖ'lerinin ort. toprak koruma performansları

AKAÖ tipleri	Ortalama TKPİ (y/x; %)	
	Veliköy PB	Olur PB
Normal kapalı orman	96,2	91,4
Boşluklu kapalı orman	82,4	52,1
Ziraat	84,7	67,2
Mera	66,2	64,7
Diğer*	65,9	36,5
Genel alan	80,8	60,4

* İskan, su kütlesi, taşlık kayalık alanlar gibi diğer arazi kullanım sınıfları.

Normal kapalılıktaki ormanlar bulundukları alanda oluşabilecek maksimum toprak kaybının ort. %96,2'sini engelleyebilmektedirler. Normal kapalı ormanları ziraat alanları, boşluklu kapalı ormanlar, meralar ve diğer AKAÖ tipleri takip etmiştir (Tablo 40). Ziraat alanlarının beklenenden yüksek performans göstermesinin nedeni; Veliköy'de sulu tarım yapılmasından kaynaklı olarak zirai ürünlerin oldukça gür ve canlı oluşu olabilir (OGM, 2013). Diğer neden ise; bu çalışmada C-faktörünü

hesaplarken yalnızca vejetasyon döneminde alınmış görüntünün kullanılmasıdır. Eğer kış ya da sonbahar aylarında alınmış bir uzaktan algılama ürünü kullanılırsa ziraat sınıfının TKPİ'i düşebilir. Tablo 40'ta dikkat çeken diğer konu; boşluklu kapalı ormanlardan sağlanan yüksek performanstır. Ülkemizde teorik olarak %10'un altında tepe tacı kapalılığına sahip olması beklenen (OGM, 2017) bu ormanların aktüel yapısı Veliköy'de biraz farklıdır. Yetişme ortamı koşullarının oldukça elverişli olduğu Veliköy'de gerçek anlamda boşluklu kapalı ormana rastlamak zordur. Ancak, üretim fonksiyonu göremeyecek, bozuk vasıflı ve sosyal baskıya maruz kalmış ormanların birçoğu (özellikle BL, BÇs) meşcere haritasında boşluklu kapalı olarak tanımlanmıştır. Diğer yandan, boşluklu kapalı ormanlarda özellikle alt tabakada yer alan çalı, ağaççık (karayemiş, kocayemiş, orman gülü) vb. bitki örtüsünün zenginliği de toprak korumada etkili olabilir. Dolayısıyla "boşluklu kapalı" ormanların, oluşabilecek maksimum toprak kaybını %82,4 oranında engelleyebilmesi şaşırtıcı değildir. Nitekim, aynı oran Olur PB'nde yaklaşık %50'ye kadar düşmektedir ki, Olur'un meşcere haritasındaki boşluklu kapalı orman tipleri aktüelde de %10'un altında kapalılığa sahiptir.

Meşcere tipi ölçeğine inildiğinde durum daha fazla netlik kazanmaktadır. Ek-11'de Veliköy PB için meşcere tipleri itibariyle hesaplanan TKPİ'leri verilmiştir. Buna göre, GD rumuzlu aktüel saf Göknar seçme kuruluşu, toprak koruma açısından en iyi performansı sergileyen meşcere tipi olmuştur (%100). Bu meşcere tipi, bulunduğu alanda oluşabilecek maksimum toprak kaybını tamamen (%100 oranında) engelleyebilmektedir. Diğer bir anlatımla, GD kuruluşlarının bulunduğu alanlardaki toprak kaybı sıfır olup, buralarda erozyon oluşamamaktadır. Benzer şekilde GLD, LA, GLC, GA, GLA gibi seçme kuruluşları da üstün performans sergilemişlerdir (Ek-11). Seçme kuruluşların toprağı iyi korumalarının altında yatan neden; yetişme ortamı koşullarının çok iyi olması dolayısıyla tepe tacı kapalılığının genellikle grift (%100'ün üzerinde) oluşu, düşey kapalılık (çok katlı orman), yüksek göğüs yüzeyi değerleri ve devamlı orman (continuous cover forestry) formunda oluşlarıyla ilişkilendirilebilir. Bu bulgular geçmiş literatürde tecrübe ve gözleme dayalı olarak yapılmış bazı önerileri bilimsel olarak da ispatlar niteliktedir. Örneğin; Savaşan (1999) toprak korumaya ayrılan ormanlarda sık, karışık ve katlı meşcerelerin oluşturulmasını önermektedir. Kalıpsız (1982) da erozyonu önleme fonksiyonlu ormanlarda tabakalı bir yapının arzu

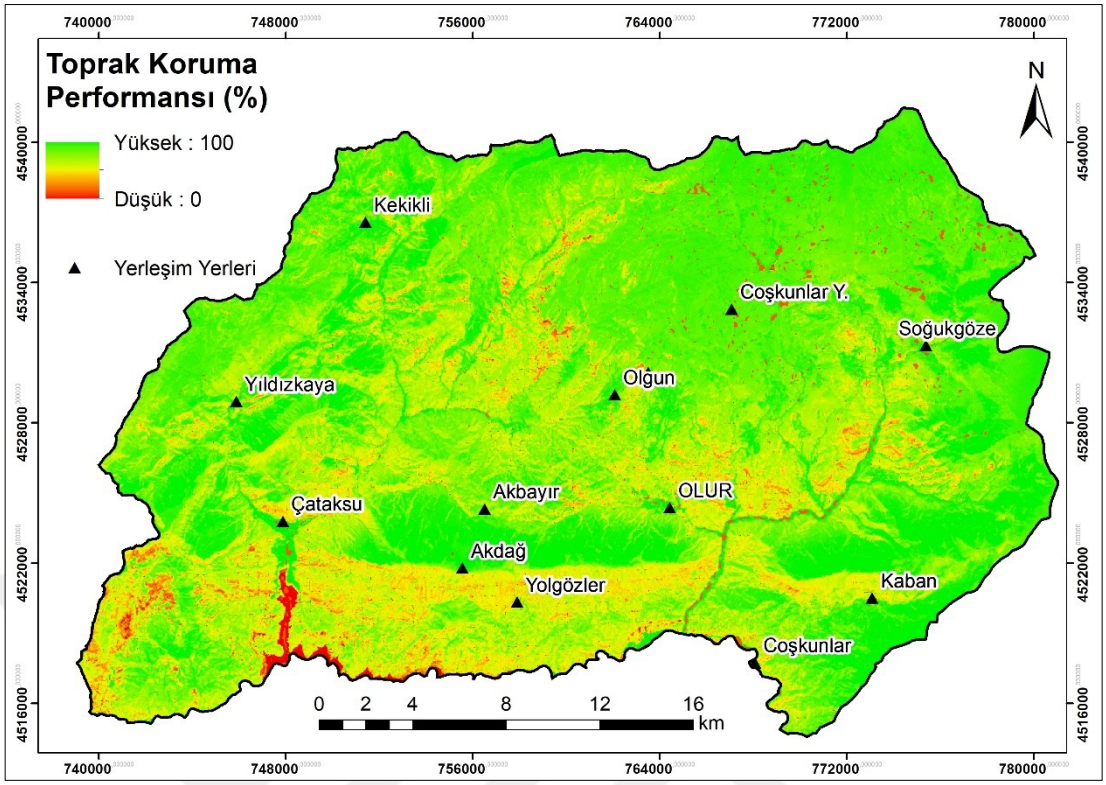
edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Keza, Asan ve Şengönül (1988) de toprak koruma işletme sınıflarında göğüs yüzeyi değeri yüksek, sık ve katlı ormanların mümkün olduğunca tercih edilmesine dikkat çekmiştir.

Ek-11'de en kötü performans sergileyen meşcereler ise T, Ma3-T, E, Me-E, BÇs-E, BL-E, BÇsM-E, BM-T, BÇs-T, OT-T gibi tiplerdir. Yalnızca T ve E rumuzlarından ibaret olan tiplerin üzerinde herhangi bir orman örtüsü bulunmadığı için buralardaki toprağın korunamayacağı açıktır. Ancak üzerinde hem gençlik, mera vejetasyonu, boşluklu kapalı orman gibi bitki örtüsü olan hem de aktif erozyon sahasında ya da taşlık−kayalık alanlarda bulunan (sonu –T ya da –E ile biten) tiplerin de kötü toprak koruma performansı gösterdikleri görülmektedir. Örneğin; aktif erozyon sahasında bulunan boşluklu kapalı saf bir Sarıçam meşceresi (BÇs-E), sahadaki erozyonun ancak %17,4'ünü engelleyebilmiştir. Halbuki normal bir sahada bulunan aynı meşcerede (BÇs) bu oran ort. %55,5'e kadar çıkabilmektedir. Aynı meşcerenin Meşe ile karışım oluşturduğu durumda da (BÇsM) performans değişmemiştir (Ek-11). Ek-11'de dikkat çeken diğer husus orman içinde bulunan ağaçsız açıklıkların (OT) orta düzeyde toprak koruma performansı gösterebildikleridir. Bu durum, OT alanları üzerinde bulunan çalı, diri örtü ve ot vejetasyonunun Veliköy'de toprağı sıkı bir şekilde örtmesiyle açıklanabilir. Aynı durum Veliköy'den farklı çevresel koşullara sahip diğer bölgelerde farklılaşabilir.

Veliköy PB'nde oldukça dar bir alana yayılan Kva3, Kzbc2, MGnbc3, Mab3, Mbc3, MGnab3 gibi yapraklı meşcereler de tıpkı ibreli ormanlar gibi iyi performans sergilemişlerdir (Ek-11). Ancak, burada yanıltıcı bir durum olabilir. Çünkü Ek-11'de verilen TKPİ'leri, Veliköy PB'nin vejetasyon evresinde alınan anlık bir görüntüsü (snapshot) yardımıyla üretilmişlerdir. Bu değerler yıl içerisinde alınacak diğer uzaktan algılama ürünleri ile yapılacak yeni modellemelerde değişim gösterebilirler. İbreli ormanlarda yaşanabilecek değişim oldukça sınırlıyken, yapraklı ormanlar sonbaharda yapraklarını döktükleri için toprağı koruma performanslarında ciddi düşüşler gözlenebilir. Bununla birlikte, dökülen yaprakların orman tabanında birikmesi ve muhtemel kar örtüsü belirli ölçülerde toprak koruma sağlayabilir. Bu nedenlerle, yapraklı ormanlarda yapılan modelleme çalışmaları daha fazla belirsizlik içermektedir.

Olur Planlama Birimi'ndeki bitki örtüsünün toprak koruma performanslarının piksel ölçeğinde alana dağılımı Şekil 59'da haritalanmıştır. Harita, Olur'un potansiyel toprak kaybı haritası ile kısmen benzerlik, kısmen de farklılıklar göstermektedir. Örneğin; çalışma alanının güneybatısında yer alan Ayvalı Barajı su toplama havzasında etkin toprak koruma sağlanamadığı için bu kesimler Şekil 59'da kırmızı renk ağırlıklıdır. Oysa, potansiyel toprak kaybı haritasına göre aynı alanlarda ciddi toprak kayıpları yaşanmamaktadır (Şekil 53). Bunun nedeni; alanda bitki örtüsü az olmasına rağmen, eğim ve yağışın azlığı yanı sıra su kütlesinin varlığı erozyona izin vermemektedir. Buna benzer şekilde, kuzeybatı kesimlerdeki bitki örtüsü, kapasitesinin tamamına yakınını kullanarak yüksek toprak koruma performansı sergilemektedir (Şekil 59). Fakat o bölgedeki arazi koşulları ve iklim özellikleri o kadar kötüdür ki bitki örtüsünün sunduğu yüksek TKPİ bile erozyonu engellemeye yetmemektedir. Dolayısıyla, alanda bitki örtüsüne rağmen ort. 20 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ üzerinde toprak kaybı yaşanabilmektedir (Şekil 53). Olur'daki diğer karakteristik alanlardan Akdağ silsilesinin kuzey yamaçlarında ise verimli orman örtüsü sayesinde tam toprak koruma sağlanmakta, güney yamaçlardaki seyrek bitki örtülü ya da çıplak alanlarda (kırmızı−sarı−turuncu) düşük koruma sağlanmaktadır (Şekil 59). Diğer örnekten farklı olarak, kuzey yamaçtaki meşcerelerin performansları buradaki toprak kaybını engellemeye yetmektedir. Bu nedenle, Şekil 59'daki renklenmenin bir benzeri Şekil 53'e de yansımıştır. Guerra ve ark. (2014) da gerek erozyonu önleme ekosistem hizmeti kapasitesi, gerek sağlanan aktüel ekosistem hizmeti gerekse azaltılan erozyon haritalarının zaman zaman birbirine benzeyip zaman zaman birbirinden farklılaşabileceğini bildirmişlerdir. Dolayısıyla Olur PB için üretilen haritaların birbiriyle olan ilişkileri literatürde daha önce ortaya konan örneklerle çelişmemektedir.

Son olarak Şekil 59'da dikkat çeken diğer bir husus; yeşil renkli alanların ağırlıkta oluşudur. Bu durum yeşil alanların erozyon açısından risk oluşturmadığını değil, buradaki bitki örtüsünün seyrek olsa bile elinden geldiği kadar toprak kaybını engellediğini göstermektedir. Ancak, alanda oluşabilecek maksimum toprak kaybı örneğin 500 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ gibi değerlerle ifade edilebiliyorsa buradaki bitki örtüsünün %90 performans göstermesi halinde bile 50 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ kadar toprak kaybı oluşacaktır ki bu değer alanda şiddetli erozyon yaşandığının göstergesidir.



Şekil 59. Olur PB'nin toprak koruma performans indisi (TKPİ) haritası

Olur PB genelinde bulunan tüm bitki örtüsünün ortalama TKPİ %60,4 olarak bulunmuştur (Tablo 40). Bu değer hem Veliköy'ün hem de Avrupa kıtası genel ortalamasının bir hayli altındadır (Guerra ve ark., 2016). Aslında bu sonuç sürpriz değildir. Çünkü söz konusu çalışma alanlarındaki ekosistem yapıları, arazi örtüsü tipleri ve bunların toprağı tutabilme kapasiteleri birbirinden oldukça farklıdır. İspanya'da yapılan benzer bir çalışmadan çıkan sonuç 2009 yılı ortalamasının 0,630 (%63) olduğunu ortaya koymuştur (Guerra ve ark., 2016). Bu değerin Olur'dakine oldukça yaklaşması tesadüf olmamalıdır. Çünkü Olur'un da içinde yer aldığı Çoruh Nehri Havzası'nda yer yer Akdeniz iklim özelliklerinin görüldüğü ve hatta Akdeniz'e özgü pseudomaki topluluklarının bu bölgede relikt tür olarak yaşamlarını hala sürdürebildikleri bilinmektedir (Kurt ve Balkız, 2011; Eminağaoğlu, 2015). İspanya'nın da Akdeniz iklim kuşağında yer alması dolayısıyla söz konusu bulguların birbiriyle uyumlu olduğu düşünülmektedir.

Olur'daki TKPİ AKAÖ tipleri itibariyle hesaplandığında ise en yüksek performansın beklenildiği gibi normal kapalılıktaki ormanlardan alındığı anlaşılmaktadır (Tablo 40). Normal kapalı ormanlar bulundukları alanda oluşabilecek maksimum toprak kaybının

ort. %91,4'ünü engelleyebilmektedirler. Ancak, söz konusu ormanlarla kaplı sahaların Olur'un genel alanının yalnızca %9,2'sini kapladığı unutulmamalıdır. Bu nedenle, Olur PB'ndeki potansiyel toprak kaybı ortalaması yıllık 15 t ha^{-1}'ın üzerindedir (Tablo 35). TKPİ yönünden normal kapalı orman sınıfını sırasıyla ziraat alanları, meralar, boşluklu kapalı ormanlar ve diğer arazi kullanım tipleri takip etmektedir (Tablo 40). Ziraat alanlarının beklenenden yüksek performans sergilemesinin nedeni; yalnızca sulu tarım yapılan tarlaların Olur'un meşcere haritasına Z rumuzuyla işlenmesinden kaynaklanmaktadır. Olur'da daha yaygın olan kuru tarım arazileri ise meşcere haritasında Me ya da OT, OT-T içerisine yedirilmiştir (OGM, 2015b). Mera arazilerine gelindiğinde; Olur'daki meraların tıpkı Veliköy'dekiler gibi maksimum toprak kaybını yaklaşık %65 oranında engelleyebildikleri görülmüştür. Mera arazilerinin her iki çalışma alanında da oldukça fazla yer kapladıkları düşünüldüğünde, buralardaki toprak koruma etkisi daha iyi anlaşılacaktır. Boşluklu kapalı ormanların performansı ise yaklaşık %50 civarındadır. Yani, Olur'daki boşluklu kapalı ormanlar bulundukları saha üzerinde gerçekleşebilecek erozyonu yarı yarıya azaltabilmektedirler. Bu oran Veliköy'ün boşluklu ormanlarına oranla daha gerçekçidir. Çünkü Olur PB'ndeki boşluklu kapalı ormanlar sahadaki aktüel durumda da %10'un altında kapalılığa sahiptirler. Bu ormanların Olur'da 20000 ha'dan daha fazla yer kapladıkları düşünüldüğünde muhakkak korunmaları ve mümkün olan yerlerde rehabilitasyon ile verimli yapıya dönüştürülmeleri, erozyonla mücadele açısından planlamacı ve uygulamacılara önemli bir fırsat sunmaktadır.

Ek-12'de Olur PB için meşcere tipleri itibariyle hesaplanan TKPİ'leri verilmiştir. Meşcere tipi ölçeğinde değerlendirme yapıldığında; Sarıçamın diğer yapraklı türlerle karışıma girdiği meşcerelerin yanı sıra Çsc3, Çscd3, Çsb3, Çsbc3 gibi değişik gelişme çağlarındaki tam (3) kapalı saf Sarıçam meşcerelerinin en iyi TKPİ'ne sahip oldukları görülmüştür. Olur PB'nde seçme kuruluşu bulunmadığından burada etkin toprak korumayı sağlayan unsur olarak yatay kapalılığın ön plana çıktığı anlaşılmaktadır. Örneğin; %70−%100 aralığında tepe tacı kapalılığına sahip bir Çsc3 meşceresi, üzerinde bulunduğu sahada oluşabilecek maksimum toprak kaybını neredeyse tamamen (%99,5 oranında) engelleyebilmektedir (Ek-12). Su kütlesi, otoyol vb. tipler hariç tutulduğunda, en kötü performans sergileyen meşcere tipleri BAr-T, BArDy-T, BDy-E, BArDy-E gibi boşluklu kapalı ormanlardır. Bu ormanlar taşlık−kayalık

alanlarda ya da aktif erozyon sahalarında yer aldıkları için, yeterli toprak derinliğine sahip olamamakta ve arzu edilen kapalılık değerlerine ulaşamamaktadırlar. Bunun yerine çeşitli otlar, çalı, geven gibi kurak iklime adapte olmuş vejetasyon tipleriyle beraber hayatlarını sürdüren bu meşcereler erozyonu yaklaşık %30−40 oranında azaltabilmişlerdir. Benzer yapıdaki meşcerelerin verimli sahalar üzerinde bulunması halinde bu oran %80'leri bulabilmektedir (Ek-12). Dolayısıyla, Olur PB gibi yarıkurak iklim özellikleri görülen bölgelerdeki boşluklu kapalı ormanların erozyonu önleme fonksiyonu hafife alınmamalıdır.

Olur PB'ndeki meralar (Me, Me-T, Me-E) ve ağaçsız orman alanlarının (OT, OT-E, OT-T) TKPİ orta düzeydedir. Özellikle meraların performansı, ağaçsız orman alanları ve hatta birçok boşluklu kapalı meşcereden daha üstündür. Olur'daki verimli bir mera arazisinin erozyonu ortalama %78,1 oranında azaltabildiği görülmüştür (Ek-12). Bu oranın Tablo 40'takinden daha yüksek çıkmasının nedeni; yalnızca verimli meraların dikkate alınmasıdır. Me-T, Me-E gibi yetişme ortamının elverişsizliği, aşırı otlatma ya da aktif erozyon sahası üzerinde bulunma gibi nedenlerle ot verimini yitirmiş meraların da hesaba katılması sonucunda bu oran düşmektedir (Tablo 40). Söz konusu arazilerin toplamı, Olur'un genel alanı içerisinde ciddi oranlara sahip olduğu için burada yapılacak doğru mera amenajmanı uygulamaları erozyonun önlenmesi açısından önemli sonuçlar doğurabilir. Oysa, Olur'daki verimli ormanların oranı %10'un altında olduğu için buralardaki doğru orman amenajmanıyla bile sağlanabilecek fayda sınırlı olacaktır. Bu nedenle, Olur PB'nde planlayıcı ve uygulayıcıların öncelikli odaklanması gereken alan boşluklu kapalı meşcereler olmalıdır. Bunun yanı sıra, mevcut verimli orman kaynakları hiç şüphesiz korunmalı ve mümkün olan yerlerde arttırılmalıdır.

Son olarak, hem Veliköy hem de Olur PB'leri için üretilen TKPİ'leri ve haritalarının, RUSLE erozyon tahmin modelinden türetilen değişkenlerle (önlenen toprak kaybı, maksimum toprak kaybı) üretildiği unutulmamalıdır. Bu yönüyle, RUSLE'yle hesaplanan toprak kayıplarındaki potansiyel hata kaynakları TKPİ değerlerini de artı ya da eksi yönlerde etkileyebilir. Bununla beraber, doğaya açık koşullar altında uzun zaman dilimlerinde gerçekleştirilen ormancılık çalışmalarında genellikle kantitatif değerlerin matematik kesinliğinden ziyade, farklı AKAÖ ya da meşcere tiplerinden

sağlanan toprak koruma performanslarının birbirlerine olan oranları önem arz etmektedir. Dolayısıyla, TKPİ'deki potansiyel hata kaynaklarının göz ardı edilebileceği değerlendirilmiştir.

3.4. İstatistiksel Analizlerin Değerlendirilmesi

3.4.1. Toprak Özellikleriyle İlgili İlişkiler

3.4.1.1. Veliköy Planlama Birimi

Veliköy PB'ndeki örnek alanlarda ölçülen sürekli değişkenler arasından toprak özellikleriyle önemli düzeyde korelasyon görülenler Tablo 41'de verilmiştir. Meşcere parametrelerinin (orta çap, orta boy, göğüs yüzeyi vd.) kendi aralarında gösterdiği ilişkiler bu çalışmanın kapsamı dışında kaldığı için bunlara değinilmemiştir. Örneğin; göğüs yüzeyi ile ağaç serveti arasında çok kuvvetli bir ilişki bulunmasına rağmen Tablo 41'de yer almamaktadır. Tablo 41'e göre K-faktör ile ağaç sayısı arasında negatif; yaş, orta boy ve diri örtü yüksekliği arasında pozitif ilişki vardır. Diğer bir ifadeyle meşceredeki ağaç sayısı arttıkça K-faktör değeri düşmekte yani toprak aşınabilirliği azalmaktadır. Dolayısıyla orman amenajmanı açısından erozyona karşı daha dirençli bir orman yapısı kurmak için meşcere sıklığının arttırılması gerekmektedir. Diğer taraftan meşcere orta boyu ve diri örtü yüksekliğindeki artışın K-faktörünü de arttırarak toprağı daha kolay aşınabilir hale getirdiği görülmüştür.

Topraktaki OM içeriği ise kapalılık ve rakımla doğru orantılı olarak değişmektedir. Artan kapalılıkla beraber toprak yüzeyine daha fazla yaprak, ibre, dal, kozalak gibi cansız materyalin düşeceği açıktır. OM içeriğince zengin olan bu materyaller, zamanla ayrışarak toprağa karışmakta ve sonuç olarak topraktaki OM'yi yükseltmektedirler (Berg ve Laskowski, 2006). Dolayısıyla bulunan ilişkilerin temel ekolojik yasalarla uyumlu olduğu görülmüştür.

Korelasyon analizi sonucunda bulunan en güçlü ilişki topraktaki toz içeriği ile kapalılık arasındadır (r=0,45). Pozitif yönde olan bu ilişki, Veliköy ormanlarındaki kapalılığın artmasıyla topraktaki toz içeriğinin de arttığını göstermektedir. Bunun tam aksine, kapalılık arttıkça topraktaki kum içeriğinin ise azaldığı görülmüştür (r=−0,40).

Tablo 41. Veliköy PB'nde orman arazi kullanımına ait değişkenler arası korelasyonlar

Toprak özellikleri	Diğer değişkenler	Önem düzeyi (çift yönlü)	Pearson'ın r katsayısı
K-faktörü (t ha s ha MJ^{-1} mm^{-1})	Ağaç sayısı	< 0,01	−0,35
	Yaş	< 0,01	0,30
	Orta boy	< 0,01	0,34
	Üst boy	< 0,05	0,33
	Diri örtü yüksekliği	< 0,01	0,38
Organik madde içeriği (%)	Kapalılık	< 0,01	0,32
	Rakım	< 0,01	0,38
Kil oranı (%)	Ağaç sayısı	< 0,01	0,32
	Yaş	< 0,05	−0,32
	Pürüzlülük	< 0,01	−0,30
Toz oranı (%)	Göğüs yüzeyi	< 0,05	0,30
	Üst boy	< 0,01	0,37
	Kapalılık	< 0,01	0,45
Kum oranı (%)	Kapalılık	< 0,01	−0,40

Orman arazi kullanımı dışında kalan mera, ziraat vd. örnek alanlara ait değişkenler arasındaki ilişkilerin incelenmesi için ayrı bir korelasyon analizi daha yapılmıştır. Bu analizin sonuçlarına göre aralarında anlamlı korelasyon bulunan değişkenler Tablo 42'de gösterilmektedir. En yüksek korelasyon r=−0,82 ile topraktaki kil oranı ve vejetasyonun toprağı örtme derecesi (kapalılık) arasında bulunmuştur ($p<0,05$). Diğer bir ifadeyle, Veliköy PB'nde killi topraklar üzerinde bulunan tarım ve mera arazilerindeki ot verimi diğer toprak türlerine göre daha düşüktür.

Önemli olduğu düşünülen diğer bir ilişki ise OM ile pürüzlülük ve yüzey taşlılığı arasındadır. Topraktaki OM içeriği pürüzlülük ve taşlılık düştükçe artmaktadır. Bilindiği gibi yüzey taşlılığı arazinin pürüzlülüğünü de arttırmaktadır. Çünkü toprak yüzeyindeki taş ve küçük kaya parçaları zincirin yerle temasını keserek daha kısa ölçülmesine neden olur (Saleh, 1993; Thomsen ve ark., 2015). Bu alanlarda OM içeriğinde düşüş gözlenmesi, taşlı topraklarda genelde düşük OM görülmesi olgusunu doğrular niteliktedir (Kantarcı, 2000; Duman, 2017).

Tablo 42. Veliköy PB'nde orman dışı arazi kullanımlarına ait değişkenler arası korelasyonlar

Toprak özellikleri	Diğer değişkenler	Önem düzeyi (çift yönlü)	Pearson'ın r katsayısı
K-faktörü (t ha s ha MJ^{-1} mm^{-1})	Rakım	< 0,05	0,32
Organik madde içeriği (%)	Pürüzlülük	< 0,01	−0,58
	Taşlılık	< 0,05	−0,52
Kil oranı (%)	**Örtme derecesi**	**< 0,05**	**−0,82**
	Pürüzlülük	< 0,05	−0,52
Kum oranı (%)	Eğim	< 0,05	0,50

Veliköy PB'nde kum/toz/kil oranları, K-faktörü ve OM içeriği sürekli değişkenlerine ait ortalamaların 22 kategorik değişkene göre gösterdiği farklılıklar $p<0,05$ önem düzeyinde incelenmiş ve anlamlı değişim gösterenler Tablo 43'te gösterilmiştir. Buna göre K-faktörü değerleri orman formu, meşcere karışımı, gözlenen erozyon, tabakalılık ve orman gülünün varlığına bağlı olarak değişmiştir. K-faktör değerlerinin ortalaması, aynı yaşlı ormanlarda değişik yaşlı seçmelere göre daha düşük bulunmuştur. Bu durum, aynı yaşlı ormanların bulunduğu toprak yapısının daha zor aşınabilir olduğunu göstermektedir. Meşcere tabakalılığının K-faktöre etkisi de orman formuyla benzer şekildedir. Diğer yandan, K-faktörü karışık meşcerelerde saflara nazaran daha düşük bulunmuştur. Bu bulgu ise; Veliköy'deki karışık meşcerelerin üzerinde bulunduğu toprak yapısının erozyona karşı daha dayanıklı olduğunu işaret etmektedir. Son olarak, orman gülü olan meşcerelerde K-faktör değerinin daha yüksek çıkması bu sahaların erozyona karşı daha hassas olduğunu göstermiştir. Halbuki orman gülünün toprak pH'ını düşürerek toprağı asitleştirmesi ve dolayısıyla buralarda OM ayrışmasının yavaşlayarak yüksek OM içeriği olması beklenir (Kantarcı, 2000). Topraktaki yüksek OM ise K-faktörünü düşürme yani toprağı erozyona karşı daha dirençli hale getirme eğilimindedir. Dolayısıyla burada orman gülü ve K-faktörü arasında doğrudan değil dolaylı bir ilişki olduğu söylenebilir. Orman gülü genellikle meşcere içindeki açıklık alanlarda bulunduğu için bu alanların daha fazla yağış alacağı açıktır. Bu durum, toprağın çevresine göre daha bol su ile karşılaşması sonucunda kilin yıkanmasına neden olmaktadır. Sonuç itibariyle hızla yıkanan kil toprak tekstüründeki kum ve toz oranını yükseltmektedir (Kantarcı, 2000). Bu da toprağın daha kolay aşınabilir hale gelmesi ve yüksek K-faktörü demektir.

Tablo 43. Veliköy PB'nde aralarında anlamlı ilişki bulunan değişkenler (t-testi)

Toprak özellikleri (sürekli değişken)	Kategorik değişkenler (2 alt gruplu)	t-testi önem düzeyi
K-faktörü (t ha s ha MJ^{-1} mm^{-1})	Orman formu (1-aynı yaşlı, 2-seçme)	< 0,001
	Meşcere karışımı (1-saf, 2-karışık)	< 0,05
	Tabakalılık (1-tek tabaka, 2-iki+ tabaka)	< 0,05
	Gözlenen erozyon (1-yok, 2-var)	< 0,05
	Orman gülü (1-yok, 2-var)	< 0,01
OM içeriği (%)	Gözlenen erozyon (1-yok, 2-var)	< 0,001
Kil oranı (%)	Orman formu (1-aynı yaşlı, 2-seçme)	< 0,05
	Yüzey taşlılığı (1-yok, 2-var)	< 0,05
Toz oranı (%)	Orman formu (1-aynı yaşlı, 2-seçme)	< 0,05
	Gözlenen erozyon (1-yok, 2-var)	< 0,001
	Diğer yapraklı türler (1-yok, 2-var)	< 0,05
Kum oranı (%)	Gözlenen erozyon (1-yok, 2-var)	< 0,01
	Diğer yapraklı türler (1-yok, 2-var)	< 0,05

Topraktaki OM içeriği ise yalnızca gözlenen erozyon durumuna göre anlamlı değişiklik göstermiştir (Tablo 43). Topraktaki OM, erozyonlu sahalarda daha düşük bulunmuştur. Yani erozyon süreçleri verimli üst toprağı bulunduğu yerden taşıyarak sahayı verimsizleştirmektedir. Özellikle OM'deki düşüş bu olayın habercisidir.

Topraktaki kil içeriği, orman formu ve yüzeyde taşlılığın olup olmamasına göre değişmiştir (Tablo 43). Aynı yaşlı orman formunda daha yüksek bulunan kil içeriği, değişik yaşlı seçmelerde daha düşük bulunmuştur.

Topraktaki toz içeriğinde ise orman formu, gözlenen erozyon ve meşcerede diğer geniş yapraklı türlerin olup olmamasına göre anlamlı farklılıklar görülmüştür (Tablo 43). Aynı yaşlı ormanlardaki toz içeriği değişik yaşlı seçmelere göre daha düşük çıkmıştır. Erozyon izleri gözlenen sahalardaki toz içeriği de diğer sahalara göre daha düşük bulunmuştur.

Son olarak topraktaki kum içeriği ile gözlenen erozyon ve meşceredeki diğer geniş yapraklı türlerin varlığı arasında anlamlı ilişkiler mevcuttur (Tablo 43). Buna göre, erozyon izleri görülen sahalardaki kum içeriği ortalamaları diğer sahalardan daha fazladır. Toz içeriğinin aksine topraktaki kum içeriği meşceredeki diğer yapraklı türlerin bulunması halinde artmaktadır. Veliköy PB'ndeki genel orman yapısı ibreli türlerden oluştuğu için içerisinde serpili vaziyette yapraklı tür ya da türler bulunan iğne yapraklı meşcerelerin kum içeriği, bulunmayanlara göre daha yüksektir denilebilir. Literatürde de buna benzer bulgulara rastlamak mümkündür. Örneğin, Yilmaz ve ark. (2015) Trabzon'daki yapraklı ormanların kum içeriğinin ibrelilerden daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Yüksek kum içeriği ise erozyona duyarlılığı arttırmaktadır. Dolayısıyla erozyonu önleme fonksiyonu görmesi beklenen sahalarda saf ibreli türlerin tercih edilmesi gerekir.

Sürekli değişkenlerden K-faktöründe AKAÖ tipi, tabakalılık ve dip kütük çap sınıfına göre anlamlı farklılıklar görülmüştür (Tablo 44). AKAÖ açısından değerlendirildiğinde; normal kapalılıktaki ormanların K-faktör değeri diğer üç AKAÖ sınıfından anlamlı derecede farklı ve yüksek çıkmıştır. Bu durum normal kapalı ormanların üzerinde bulunduğu toprak yapısının OM'ce zengin olmasına rağmen aşınabilirliğinin yüksek olduğuna işaret etmektedir. İlk etapta çelişkili gibi gözüken bu ilişki, Veliköy ormanlarının ekseriyetle kumlu topraklar üzerinde yer almasıyla açıklanabilir. Nitekim, Yilmaz ve ark. (2015) da Trabzon'da benzer bir sonuca ulaşmışlardır. Araştırmacılara göre geniş yapraklı ormanlara sahip deneme alanlarından toplanan toprak örneklerinin erozyon oranı, diğer AKAÖ tiplerinden anlamlı bir şekilde yüksektir. Tabakalılık açısından üç ve daha fazla tabakaya sahip meşcereler tek tabakalı meşcerelere göre K-faktör yönünden daha yüksek ortalamaya sahiptirler. İki tabakalı meşcerelerin ise birbirinden ayrışan söz konusu iki kümenin kesişiminde yer aldığı görülmektedir. Dip kütüklerin çap sınıfı açısından değerlendirildiğinde ise; K-faktörünün kalın çap sınıflarına doğru arttığı görülmüştür. IV. çap sınıfında (>52 cm) dip kütüklerine sahip örnek alanlardaki K-faktör ortalaması I. çap sınıfındakilere (8−19,9 cm) nazaran anlamlı derecede farklı ve yüksektir.

Tablo 44. Veliköy PB'nde aralarında anlamlı ilişki bulunan değişkenler (ANOVA)

Toprak özellikleri	Kategorik değişkenler (en az 3 alt gruplu)	ANOVA önem d.	Levene önem d	Posthoc test
K-faktörü (t ha s ha MJ^{-1} mm^{-1})	AKAÖ (1-boş.kap.orm, 2-ver.orman, 3-Z, 4-Me)	< 0,001	> 0,05	Tukey
	Tabakalılık (1-tek tabakalı, 2-iki tab., 3-çok tab.)	< 0,001	> 0,05	Tukey
	Dip kütük çap sınıfı (1-I, 2-II, 3-III, 4-IV)	< 0,01	> 0,05	Tukey
OM içeriği (%)	AKAÖ (1-boş.kap.orm, 2-ver.orman, 3-Z, 4-Me)	< 0,001	< 0,01	Tamhane
	Meşcere tipi (1-yapraklı, 2-ibreli, 3-karışık)	< 0,01	> 0,05	Tukey
	Tabakalılık (1-tek tabakalı, 2-iki tab., 3-çok tab.)	< 0,05	> 0,05	Tukey
	Top.nemi (1-p.kuru,2-kuru,3-serin,4-nemli,5-yaş)	< 0,01	> 0,05	Tukey
	Göz. er. (0yok,1yüzey,2oluk,3oyu.,4hey.,5akma)	< 0,001	> 0,05	Tukey
	Kaya büyüklüğü (1-küçük, 2-orta, 3-büyük)	< 0,05	< 0,01	Tamhane
Toz oranı (%)	AKAÖ (1-boş.kap.orm, 2-ver.orman, 3-Z, 4-Me)	< 0,001	> 0,05	Tukey
	Meşcere tipi (1-yapraklı, 2-ibreli, 3-karışık)	< 0,001	> 0,05	Tukey
	Tabakalılık (1-tek tabakalı, 2-iki tab., 3-çok tab.)	< 0,05	> 0,05	Tukey
	Göz. er. (0yok,1yüzey,2oluk,3oyu.,4hey.,5akma)	< 0,01	< 0,05	Tamhane
	Sos.baskı(1yok2kaçak3yerl.4otla.5rekr.6yol7çok)	< 0,01	> 0,05	Tukey
Kum oranı (%)	AKAÖ (1-boş.kap.orm, 2-ver.orman, 3-Z, 4-Me)	< 0,001	> 0,05	Tukey
	Meşcere tipi (1-yapraklı, 2-ibreli, 3-karışık)	< 0,01	> 0,05	Tukey
	Göz. er. (0yok,1yüzey,2oluk,3oyu.,4hey.,5akma)	< 0,01	> 0,05	Tukey
	Sos.baskı(1yok2kaçak3yerl.4otla.5rekr.6yol7çok)	< 0,05	> 0,05	Tukey

Topraktaki OM içeriğini etkileyen kategorik değişkenler; AKAÖ sınıfı, meşcere tipi, tabakalılık, toprak nemi, gözlenen erozyon ve kayaların büyüklüğüdür (Tablo 44). Buna göre normal kapalı orman sınıfı OM'ce diğer tüm AKAÖ'lerinden daha zengindir ki, bu beklenen bir sonuçtur. Diğer üç AKAÖ sınıfının OM yönünden birbirlerinden anlamlı derecede bir farkları bulunamamıştır. Meşcere tipleri açısından değerlendirildiğinde; ibreli meşcereler, geniş yapraklı ve karışık meşcerelerden ayrılmakta ve toprakta daha fazla OM tutmaktadırlar. Bu durum ibreli ağaçların herdem yeşil olması ve birim alandaki toplam yaprak yüzeylerinin yapraklılara göre daha fazla olmasıyla ilişkilendirilmiştir. Meşcere tabakalılık durumuna göre OM'deki değişim ise pozitif yöndedir. Diğer bir ifadeyle, meşcere tabakalılığı arttıkça topraktaki OM de yükselmektedir. Tek tabakalı ve iki tabakalı meşcereler arasında anlamlı bir fark bulunmamakta, ancak tek tabakalı ve çok tabakalı (ikiden fazla) meşcereler anlamlı şekilde birbirlerinden ayrılmaktadırlar. OM ortalamaları toprak nemi açısından değerlendirildiğinde; yaş−cıvık topraklarda OM içeriğinin diğerlerine nazaran çok düşük olduğu görülmüştür. Ancak toprak nemi örnekleme zamanındaki

hava olaylarından direkt etkilendiği için, bulunan bu ilişkiye kuşkuyla yaklaşılmalıdır. OM içeriği gözlenen erozyon açısından değerlendirildiğinde karşımıza ilginç sonuçlar çıkmaktadır. Görsel olarak hiçbir erozyon belirtisine rastlanmayan örnek alanların OM ortalamaları diğerlerinden anlamlı derecede yüksektir. Bu beklenen bir durumdur. Diğer taraftan yüzey, oluk ya da oyuntu erozyonu emarelerine rastlanan örnek alanların OM ortalamaları arasında fark bulunamamıştır. Ancak çeşitli boyutlarda heyelan yaşanmış sahalardaki OM içeriği, diğer tüm gruplardan farklı ve daha düşük bulunmuştur. Dolayısıyla tüm erozyon tiplerinin toprak özelliklerine olumsuz yönde etkisi olduğu fakat heyelanın toprak yapısına en çok zarar veren olay olduğu söylenebilir.

Topraktaki toz içeriğini etkileyen kategorik değişkenler ise; AKAÖ sınıfı, meşcere tipi, tabakalılık, gözlenen erozyon ve sosyal baskının türüdür (Tablo 44). Buna göre, normal kapalı ormanlar diğer üç AKAÖ sınıfından ayrılmakta ve topraklarında daha yüksek toz içeriği ihtiva etmektedirler. Meşcere tipleri açısından karışık ve ibreli meşcereler iki ayrı kümede toplanmaktadırlar. Karışık meşcerelerin toz içeriği düşük, ibrelilerinki ise yüksek olmaktadır. Yilmaz ve ark. (2015)'nın çalışmasında da topraktaki toz içeriğinin AKAÖ tiplerine göre değiştiği ve ibreli ormanlarda yapraklılardakinden daha yüksek olduğu bulunmuştur. Tabakalılık açısından ise tek tabakalı meşcerelerin toz içeriği düşük, çok tabakalılarınki yüksek çıkmaktadır. Topraktaki toz içeriği gözlenen erozyon tipine göre yorumlandığında; erozyon görülmeyen sahalarda tozun en yüksek, oluk ve heyelan gözlenen sahalarda ise en düşük olduğu görülmüştür. Son olarak sosyal baskının türü de toz içeriğini anlamlı derecede farklılaştırmıştır. Sosyal baskı olmayan ya da yalnızca kaçak kesimin olduğu sahalarda toz içeriği en yüksek iken, otlatma baskısı olan sahalarda en düşüktür.

Kum içeriğini etkileyen kategorik değişkenler ise dört tanedir (Tablo 44). Bunlardan AKAÖ değişkeni incelendiğinde; normal kapalı ormanların ziraat alanlarıyla beraber diğerlerinden farklı olarak en düşük kum içeriğine sahip oldukları görülür. Boşluklu kapalı ormanlar ise, en yüksek kum içeriğine sahiptir ancak meradan bağımsız bir kümeleşme göstermemiştir. Meşcere tipi incelendiğinde ise; ibreli meşcerelerle karışık meşcerelerin birbirinden ayrışarak iki farklı küme oluşturduğu görülmüştür. Karışık meşcerelerdeki kum oranı en yüksektir. Gözlenen erozyon tipine göre farklılıklara

bakıldığında; erozyon gözlenmeyen sahalarla oluk erozyonu gözlenen sahaların birbirinden anlamlı olarak farklı olduğu görülmüştür. Oluk erozyonu gözlenen sahalarda kum içeriği en fazladır. Son olarak sosyal baskı türünün toz içeriğine etkisi şu şekildedir; otlatma baskısı olan sahalarda en yüksek ortalamaya rastlanırken, mesire yerlerinde en düşük ortalamaya rastlanmıştır. Diğer baskı türleri arasında toz içeriği açısından anlamlı bir değişkenlik yoktur.

Genel bir değerlendirme yapmak gerekirse, Veliköy PB'ndeki genel toprak özelliklerini en çok etkileyen değişkenler; AKAÖ, tabakalılık, meşcere tipi ve gözlenen erozyon tipidir. AKAÖ sınıfı tüm toprak özelliklerini değiştirebilmektedir. Yilmaz ve ark. (2015) da Trabzon'da yapmış oldukları çalışmada benzer bir sonuca ulaşmışlardır. Araştırmacılar topladıkları toprak örneklerinin erozyon oran indisini hesaplamış ve ortalamaların AKAÖ tiplerine göre anlamlı derecede değiştiğini ifade etmişlerdir ($p<0,05$).

3.4.1.2. Olur Planlama Birimi

Olur PB'nde ölçülen toplam 33 sürekli değişken arasından birbirleriyle önemli düzeyde korelasyon gösteren değişkenler Tablo 45'te verilmiştir. Buna göre K-faktör ile orman tabanındaki diri örtünün örtme derecesi arasında pozitif korelasyon görülmektedir ($r=0,39$; $p<0,01$). Yani diri örtünün toprağı örtme derecesi arttıkça K-faktör değeri de yükselmekte, diğer bir ifadeyle toprak aşınabilirliği artmaktadır. Bu durum, orman gülü gibi diri örtü elemanlarının toprak pH'ını asitleştirmesiyle ya da toprakta meydana gelen diğer kimyasal reaksiyonlarla ilgili olabilir. Nitekim Veliköy PB'nde de K-faktör ile diri örtü arasında benzer bir ilişkiye daha önce rastlanmıştır (Tablo 41).

Diğer taraftan OM içeriği ile orta boy, kapalılık, ölü örtü kalınlığı, rakım ve dip kütük miktarı arasında da pozitif ilişkiye rastlanmıştır. Bunlardan en yüksek ilişkili olan kapalılık olup ($r=0,66$), meşcere kapalılığı arttıkça toprak OM'nin de buna paralel olarak yükseldiği görülmüştür ($p<0,01$). Benzer durum Veliköy PB'nde de görülmüş ve bir önceki bölümde yorumlandığı için burada tekrarlanmamıştır.

Topraktaki kil oranıyla ilişki içerisinde bulunan parametreler ise; göğüs yüzeyi, kapalılık ve pürüzlülüktür. Bunlardan pürüzlülük negatif yönde, diğerleri pozitif yönde korelasyon göstermektedir (Tablo 45). Yani; pürüzlülük arttıkça toprak kil oranı düşmektedir. Bir önceki bölümden hatırlanabileceği gibi pürüzlülük ve kil oranı arasında aynı yönde ve şiddetteki ilişki Veliköy PB için de görülmüştür.

Topraktaki toz oranıyla pozitif korelasyon gösteren parametreler; kapalılık ve diri örtünün örtme derecesidir. Bunlardan kapalılık daha zayıf kuvvette bir ilişki göstermiş (r=0,31) ve aynı yöndeki ilişkiye Veliköy PB'nde de rastlanmıştır. Diri örtünün örtme derecesinin toz oranıyla olan ilişkisine ise yalnızca Olur PB'nde rastlanmıştır.

Son olarak topraktaki kum oranı ile kapalılık arasında r=−0,34 şiddetinde negatif korelasyon bulunmuştur (p<0,01). Yani kumlu topraklardaki kapalılık diğer toprak türlerine nazaran daha düşüktür. Daha önce verilen Tablo 41'den hatırlanacağı gibi, aynı yönlü ve benzer şiddetteki bir ilişki Veliköy PB'nde de görülmüştü.

Tablo 45. Olur PB'nde orman arazi kullanımına ait değişkenler arası korelasyonlar

Toprak özellikleri	Diğer değişkenler	Önem düzeyi (çift yönlü)	Pearson'ın r katsayısı
K-faktörü (t ha s ha MJ^{-1} mm^{-1})	Diri örtü örtme derecesi	< 0,01	0,39
Organik madde içeriği (%)	Orta boy	< 0,01	0,43
	Kapalılık	< 0,01	0,66
	Ölü örtü kalınlığı	< 0,01	0,46
	Rakım	< 0,01	0,38
	Dip kütük miktarı	< 0,05	0,30
Kil oranı (%)	Göğüs yüzeyi	< 0,05	0,35
	Kapalılık	< 0,01	0,34
	Pürüzlülük	< 0,01	−0,30
Toz oranı (%)	Kapalılık	< 0,01	0,31
	Diri örtü örtme derecesi	< 0,01	0,35
Kum oranı (%)	Kapalılık	< 0,01	−0,34

Olur PB'nde orman arazi kullanımı dışında kalan mera, ziraat vd. 54 örnek alana ait değişkenler arasındaki ilişkilerin incelenmesi için ayrı bir korelasyon analizi daha yapılmıştır. Bu analizin sonuçlarına göre aralarında anlamlı korelasyon bulunan değişkenler Tablo 46'da gösterilmektedir. En yüksek korelasyon r=0,55 ile OM içeriği ve örtme derecesi arasında bulunmuştur (p<0,01). Bu ilişkiye göre tarım ve mera

arazilerindeki ot verimi yüksek kısımlarda, toprak OM'si de yüksek çıkmaktadır. Bu beklenen bir sonuçtur (Kantarcı, 2000).

Veliköy PB'ndeki durumun aksine Olur'da OM içeriği ve pürüzlülük arasında pozitif yönlü bir ilişki bulunmuştur (Tablo 46). İki çalışma alanı arasındaki bu uyumsuzluk şu şekilde açıklanabilir; bilindiği gibi bol taşlı arazilerde toprak OM'si düşük olma eğilimindedir (Kantarcı, 2000). Veliköy'deki pürüzlülüğün artmasına neden olan birincil faktör toprak yüzeyindeki taş parçalarıdır. Dolayısıyla, Veliköy'deki pürüzlü arazilerde OM düşük çıkmaktadır. Olur'daki durum ise daha farklıdır. Buradaki pürüzlülüğün artmasına neden olan birincil faktör taşlılık değil, arazinin doğal engebeliliği, eğim kırıklıkları ve ağaçlandırma vd. erozyon kontrol çalışmaları kapsamında yapılan teras benzeri yapılardır. Olur'da orman dışından alınan örnek alanların bir kısmını bozuk meralardaki Sarıçam−Badem ağaçlandırma sahaları oluşturmaktadır. Bu şeritler hem teras nedeniyle yüksek pürüzlülüklü hem de başarılı ağaçlandırma faaliyeti nedeniyle yüksek OM içeriğine sahip olmaktadır. Dolayısıyla, Olur'da pürüzlülük ve OM arasındaki pozitif ilişki normal karşılanmalıdır.

Tablo 46. Olur PB'nde orman dışı arazi kullanımlarına ait değişkenler arası korelasyonlar

Toprak özellikleri	Diğer değişkenler	Önem düzeyi (çift yönlü)	Pearson'ın r katsayısı
K-faktörü (t ha s ha MJ^{-1} mm^{-1})	Eğim	< 0,05	0,30
Organik madde içeriği (%)	Pürüzlülük	< 0,01	0,49
	Örtme derecesi	< 0,01	0,55
Kil oranı (%)	Eğim	< 0,05	−0,35
Kum oranı (%)	Rakım	< 0,01	0,38

Olur PB'ndeki toprak özellikleriyle ilgili beş sürekli değişkene ait ortalamaların 22 kategorik veriye göre değişimleri $p<0,05$ önem düzeyinde incelenmiş ve anlamlı farklılık gösterenler Tablo 47'de gösterilmiştir. Buna göre, K-faktörü değerleri zeminde kayaların olup olmaması ve liken/yosun oluşumuna bağlı olarak değişmiştir. Örnek alanlarda zeminde küçük kaya parçaları ya da büyük sabit kayaların varlığı K-faktörü ortalamalarını arttırmıştır. Bu durum, toprak üzerindeki kayaların tıpkı yüzey taşlılığı gibi toprak OM'sini düşürdüğü ve dolayısıyla K-faktörünü arttırdığı şeklinde

yorumlanabilir. Diğer taraftan ağaç gövdelerinde liken oluşumu ve tabanda yosun olan sahalarda K-faktörü daha yüksek çıkmıştır. Dolayısıyla, bu sahaların toprak yapısı erozyona karşı daha hassastır denilebilir. Ya da, zeminde yosun örtüsü gibi oluşumlar bir yandan yağmurun kinetik enerjisini emerek toprağı korurken, diğer yandan kimyasal süreçlerle onun OM'sini düşürmek suretiyle aşınabilirliğini arttırmaktadır, şeklinde bir değerlendirme yapılabilir.

Topraktaki OM içeriği ise meşcere karışımı, gençlik durumu, gözlenen erozyon, bakı, sosyal baskı, kaçak kesim ve sahadaki dip kütüklerden anlamlı derecede etkilenmektedir (Tablo 47). Örneğin alttan gençlik gelen meşcerelerde, OM içeriği gençlik bulunmayan meşcerelere nazaran daha yüksektir. Bu durum yetişme ortamı verim gücüyle (bonitet) ilişkilendirilebilir. Özellikle Olur'daki iyi bonitetli sahalarda henüz gençleştirmeye başlamadan aşağıdan sürekli gençlik gelme eğilimi olduğu gözlenmiştir. Ancak bu gençlikler genellikle yaşama kabiliyetinde olmayıp (dejenere) belli bir süre sonra (5−20 yıl) hayatiyetlerini kaybetmektedirler. Fakat yine de, bu durum bonitetin yüksek olduğunun bir göstergesidir ve dolayısıyla buralardaki toprak OM'si daha yüksek çıkmaktadır. Tıpkı Veliköy PB'nde görüldüğü gibi erozyonlu sahalarda OM içeriği diğerlerine göre daha düşük çıkmıştır. Bu kategorik değişkenin iki farklı çalışma alanında da görülmesi onu daha anlamlı kılmaktadır.

Topraktaki kil oranı ise yalnızca zeminde kaya varlığı durumunda anlamlı değişim göstermiştir (Tablo 47). Buna göre zeminde kaya bulunan örnek alanlardaki kil oranı bulunmayanlara göre daha düşüktür.

Toz oranına ait ortalamaları değiştiren kategorik değişkenler ise diri örtü varlığı ve liken/yosun oluşumudur (Tablo 47). Orman tabanında diri örtünün bulunması halinde topraktaki toz oranı daha yüksek çıkmaktadır. Benzer şekilde, gövde ve ibrelerde liken oluşumu ya da yerde ve kütüklerde yosun oluşumu gözlenen örnek alanlarda da toz oranı yüksek bulunmuştur. Son olarak, kum oranı yalnızca dip kütük bulunan meşcerelerde anlamlı farklılık göstermiştir (Tablo 47). Eğer ormanda dip kütükler varsa, o sahalardaki toprağın kum oranı daha düşük çıkmaktadır.

Tablo 47. Olur PB'nde aralarında anlamlı ilişki bulunan değişkenler (t-testi)

Toprak özellikleri (sürekli değişken)	Kategorik değişkenler (2 alt gruplu)	t-testi önem düzeyi
K-faktörü (t ha s ha MJ^{-1} mm^{-1})	Kayalar (1-yok, 2-var)	< 0,01
	Liken/yosun oluşumu (1-yok, 2-var)	< 0,05
OM içeriği (%)	Meşcere karışımı (1-saf, 2-karışık)	< 0,001
	Gençlik (1-yok, 2-var)	< 0,01
	Gözlenen erozyon (1-yok, 2-var)	< 0,05
	Bakı (1-gölgeli, 2-güneşli)	< 0,001
	Sosyal baskı (1-yok, 2-var)	< 0,001
	Kaçak kesim (1-yok, 2-var)	< 0,001
	Dip kütükler (1-yok, 2-var)	< 0,001
Kil oranı (%)	Kayalar (1-yok, 2-var)	< 0,05
Toz oranı (%)	Diri örtü (1-yok, 2-var)	< 0,05
	Liken/yosun oluşumu (1-yok, 2-var)	< 0,05
Kum oranı (%)	Dip kütük (1-yok, 2-var)	< 0,05

Olur PB'nde sürekli değişkenlerden K-faktörü, teknik müdahale şekli ve kayaların büyüklüğüne göre anlamlı farklılıklar göstermektedir (Tablo 48). Ancak, gençlik bakımı yapılan ve büyük kayalara rastlanan örnek alan sayısı yeteri kadar olmadığından post-hoc testi uygulanamamış ve farkın hangi alt gruptan kaynaklandığı istatistik olarak değerlendirilememiştir.

OM içeriğinde anlamlı farklılıklar yaratan sekiz adet kategorik değişken mevcuttur (Tablo 48). Bunlardan AKAÖ değerlendirildiğinde; tıpkı Veliköy'deki gibi normal kapalılıktaki ormanların diğerlerinden ayrı bir grup oluşturarak yüksek OM'ye sahip olduğu görülmüştür. Bu durumun açıklaması Veliköy PB için bir önceki bölümde yapıldığından burada tekrarlanmamıştır. OM'de farklılık yaratan diğer değişken meşcere tipidir. Yine Veliköy'deki duruma benzer şekilde Olur'da da ibreli meşcereler, yapraklı ve karışık meşcerelerden ayrılmakta ve toprakta daha fazla OM tutmaktadırlar. Gençlik durumunun toprak OM'sine etkisi değerlendirildiğinde, dipte zayıf yapıda gençlik barındıran meşcerelerin diğerlerinden daha yüksek OM içeriği ile ayrıldığı görülmüştür. Gözlenen erozyon tipi açısından OM ortalamaları arasında bulunan farklılık, sınır değere (p=0,05) yakın olduğu için en temkinli ve güvenilir post-hoc testlerinden Tukey testi farkın hangi gruptan kaynaklandığını tespit edememiştir.

Bakı grupları açısından değerlendirildiğinde; kuzey ve kuzeybatı bakıların düz ve güneybatı bakılardan anlamlı derece farklılaşarak iki ayrı küme oluşturdukları görülür. Buna göre, kuzey bakılardaki OM içeriği daha fazla bulunmuştur. Örnek alanların OM ortalamaları sosyal baskının türü açısından incelendiğinde, en az bir baskı türünün diğerlerinden farklılık gösterdiği görülmüştür. Her sosyal baskı türünden (örn. rekreasyon) yeterli sayıda örnek alan sayısı olmadığından, farklılığın hangi tür baskıdan kaynaklandığı belirlenememiştir. Son olarak kaçak kesimin şiddeti değerlendirildiğinde ise farklılığın kaçakçılık görülmeyen sahalarda OM'nin daha düşük çıkması şeklinde gerçekleştiği görülmüştür. Bu durum ilk bakışta çelişkili gibi görünse de, aslında bir sonuç değil, sebeptir. Yani kaçakçılar genellikle orman yapısı kuvvetli, dolayısıyla OM'ce zengin sahalarda faaliyet göstermektedirler.

Kil içeriği açısından ortalamalarda farklılık yaratan kategorik değişkenler üç tanedir (Tablo 48). Bunlardan AKAÖ incelendiğinde; ziraat alanlarının diğer tüm AKAÖ sınıflarından ayrılarak daha yüksek kil oranına sahip oldukları görülür. Diğer üç AKAÖ sınıfının ortalamaları arasında istatistik açıdan anlamlı bir fark bulunamamıştır. Kilde farklılık yaratan diğer değişken teknik müdahale şeklidir. Ancak Olur PB'nde her teknik müdahale şeklinden yeterli örnek alan bulunamadığı için, farklılığın hangi alt gruptan kaynaklandığı belirlenememiştir. Fark yaratan son değişken ise kayaların büyüklüğüdür. Ancak teknik müdahale şekliyle aynı sebepten dolayı, farklılığın hangi büyüklükteki kayalardan kaynaklandığı belirlenememiştir. Fakat söz konusu üç kategorik değişken Veliköy PB'ndeki kil oranlarını da benzer şekilde değiştirdiğinden önemli oldukları düşünülmektedir.

Topraktaki toz oranında farklılık yaratan tek kategorik değişken AKAÖ sınıfıdır (Tablo 48). Bu değişken Veliköy'de de benzer bir etki yaratmıştır. Buna göre Olur'da AKAÖ uyarınca birbirinden bağımsız iki grup oluşmaktadır. Boşluklu kapalı orman ve mera bir grupta, normal kapalı orman ve ziraat alanları ise diğer grupta yer almaktadır. Normal kapalı ormanın bulunduğu grubun toz oranı diğerinden daha fazladır. Son olarak topraktaki kum oranında farklılık yaratan üç kategorik değişken vardır (Tablo 48). Bunlardan AKAÖ, Veliköy için de ortak olup, üç farklı gruplaşma görülmektedir. Ziraat alanları tek başına en düşük grubu oluştururken meralar boşluklu kapalı ormanla birlikte en yüksek kum oranı içeren grubu oluşturmuştur. Boşluklu

kapalı ormanlar kesişim kümesinde yer almış ve aynı zamanda normal kapalılıktaki ormanlarla da grup oluşturmuştur.

Olur PB için genel bir değerlendirme yapıldığında; OM içeriğinin kategorik değişkenlerden en çok etkilenen toprak özelliği olduğu ve AKAÖ'nün neredeyse tüm toprak özelliklerini önemli şekilde etkilediği anlaşılmaktadır ($p<0,05$). Yilmaz ve ark. (2015) da Trabzon'da yapmış oldukları çalışmada erozyon oranı indisini hesaplamışlar ve ortalamaların tüm AKAÖ'lerinde anlamlı derecede değiştiğini gözlemişlerdir.

Tablo 48. Olur PB'nde aralarında anlamlı ilişki bulunan değişkenler (ANOVA)

Toprak özellikleri	Kategorik değişkenler (en az 3 alt gruplu)	ANOVA önem d.	Levene önem d	Posthoc test
K-faktörü (t ha s ha $MJ^{-1}mm^{-1}$)	Teknik müd.(0-yok,1-g.bakımı,2-aralama,3-genç.)	< 0,05	> 0,05	–
	Kaya büyüklüğü (1-küçük, 2-orta, 3-büyük)	< 0,01	> 0,05	–
OM içeriği (%)	AKAÖ (1-boş.kap.orm, 2-ver.orman, 3-Z, 4-Me)	< 0,001	> 0,05	Tukey
	Meşcere tipi (1-yapraklı, 2-ibreli, 3-karışık)	< 0,001	> 0,05	Tukey
	Gençlik durumu (0-yok, 1-zayıf, 2-orta, 3-iyi)	< 0,05	> 0,05	Tukey
	Top.nemi (1-p.kuru,2-kuru,3-serin,4-nemli,5-yaş)	< 0,01	> 0,05	Tukey
	Göz. er. (0yok,1yüzey,2oluk,3oyu.,4hey.,5akma)	< 0,05	> 0,05	Tukey
	Bakı (1düz,2K,3KD,4D,5GD,6G,7GB,8B,9KB)	< 0,001	> 0,05	Tukey
	Sos.baskı(1yok2kaçak3yerl.4otla.5rekr.6yol7çok)	< 0,01	< 0,01	–
	Kaçakkesim şiddeti(0-yok,1-az,2-orta,3-çok)	< 0,05	< 0,05	Tamhane
Kil oranı (%)	AKAÖ (1-boş.kap.orm, 2-ver.orman, 3-Z, 4-Me)	< 0,01	> 0,05	Tukey
	Teknik müd.(0-yok,1-g.bakımı,2-aralama,3-genç.)	< 0,05	> 0,05	–
	Kaya büyüklüğü (1-küçük, 2-orta, 3-büyük)	< 0,01	> 0,05	–
Toz oranı (%)	AKAÖ (1-boş.kap.orm, 2-ver.orman, 3-Z, 4-Me)	< 0,001	> 0,05	Tukey
Kum oranı (%)	AKAÖ (1-boş.kap.orm, 2-ver.orman, 3-Z, 4-Me)	< 0,001	< 0,05	Tamhane
	Top.nemi (1-p.kuru,2-kuru,3-serin,4-nemli,5-yaş)	< 0,05	> 0,05	Tukey
	Bakı (1düz,2K,3KD,4D,5GD,6G,7GB,8B,9KB)	< 0,05	> 0,05	Tukey

3.4.2. Erozyonu Önleme Fonksiyonuyla İlgili İlişkiler

3.4.2.1. Veliköy Planlama Birimi

Veliköy PB'ndeki envanter çalışmalarıyla ölçülen sürekli değişkenler ile, erozyonu önleme fonksiyonuna ilişkin göstergeler arasında önemli düzeyde korelasyon görülenler Tablo 49'da verilmiştir. Tabloya göre NDVI ile kapalılık arasında pozitif, potansiyel toprak kaybı arasında ise negatif ilişki vardır. Diğer bir ifadeyle bitki örtüsünün toprağı örtme derecesi arttıkça NDVI da artmaktadır. NDVI, canlı vejetasyonun yapraklarında bulunan klorofil miktarıyla direkt ilişkili olduğu için (Tucker, 1979; Durigon ve ark., 2014) böyle bir korelasyon bulunmuştur. NDVI'daki artış sahadaki potansiyel toprak kaybını düşürmüştür. Bu ilişki, bitki örtüsünün toprağı yağmur damlalarının çarpma etkisinden koruması ile açıklanabilir. Ancak her iki korelasyonun da şiddeti, bağımlı değişkenleri tek başına modellemeye yeterli değildir ($r=-0,59$; $r=0,61$; $p<0,01$).

C-faktörünün ilişki içerisinde bulunduğu değişkenler ve ilişkilerin şiddeti NDVI ile hemen hemen aynıdır. İlişkinin yönü ise NDVI ile tamamen tersdir. Bunun nedeni; NDVI ile C-faktörü arasındaki kuvvetli ve ters yönlü ilişkidir (Durigon ve ark., 2014; Vatandaşlar ve Yavuz, 2017). Söz konusu ilişkiden bu çalışmadaki 3.2.1.4.2 numaralı alt bölümde de yararlanılmıştır.

Sahadaki maksimum toprak kaybı ise; eğim, önlenen toprak kaybı ve potansiyel toprak kaybı ile doğru ortantılıdır. Özellikle önlenen toprak kaybı ile $r=0,99$ şiddetindeki ilişki düzeyi dikkat çekmektedir (Tablo 49). Buradan, sahanın kaybedebileceği toprak miktarı kapasitesi ne kadar yüksek olursa, bitki örtüsünün yerinde tutabileceği toprak miktarının da o kadar yüksek olduğu sonucu çıkmaktadır. Bunun dışında, yüksek eğim derecelerinin de, sahada meydana gelebilecek toprak kayıplarının üst limitini anlamlı şekilde yükseltebildiği anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar önemlidir. Çünkü bitki örtüsünün erozyonu önleme fonksiyonunun sadece ekosistemin kendi iç dinamikleriyle değil, topografya gibi dışsal faktörlerle de şekillendiğini bizlere göstermiştir.

Sahadaki bitki örtüsü sayesinde önlenen toprak kaybının ise eğim değişkeni ile anlamlı bir ilişki geliştirdiği görülmüştür (Tablo 49). Bu ilişkinin yönü pozitif, şiddeti

r=0,59'dur ($p<0,01$). Yani sahanın eğimi arttıkça, orada önlenen toprak kaybı miktarı da orta düzeyde artmaktadır.

Son olarak toprak koruma performans indisinin (TKPİ); NDVI, C-faktörü ve potansiyel toprak kaybı ile ilişkili olduğu görülmüştür (Tablo 49). Bunlardan NDVI ile pozitif, C-faktörü ve potansiyel toprak kaybı ile negatif ilişki kurulmuştur. Özellikle C-faktörü ve NDVI ile var olan ilişkilerin şiddeti çok yüksektir. Dolayısıyla, çeşitli meşcere tipleri için kullanışlı bir gösterge olan TKPİ, bu iki değişkenden biri ile tahmin edilebilir. C-faktörü ile olan korelasyonun şiddeti NDVI'ınkinden biraz daha yüksek olsa da, regresyon analizi ile yapılacak tahminlerde NDVI'ın kullanımı daha uygun olacaktır. Çünkü bu çalışmadaki C-faktörü esasen NDVI üzerinden türetilmiş olup, hesaplanması biraz daha karmaşık ve zaman alıcı olabilmektedir. Oysa günümüz UA ve jeokonumsal teknolojileri sayesinde dijital görüntüler üzerinden NDVI haritalarının üretilmesi oldukça kolaylaşmıştır. Hatta, Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi'nin (NOAA) İleri Düzey Çok Yüksek Çözünürlüklü Radyometresi (AVHRR) gibi UA verileri sayesinde tüm yeryüzünü kapsayan NDVI yüzeylerine 15 günlük aralıklarla ücretsiz olarak erişmek mümkündür (Vatandaşlar ve Yavuz, 2017).

Bitki örtüsünün TKPİ ile sahadaki potansiyel toprak kaybı arasındaysa, kuvvetli ve ters orantılı bir ilişki mevcuttur. Bu ilişkinin kuvveti ($r=-0,67$), bağımlı değişken olan TKPİ'ni yalnızca potansiyel toprak kaybı ile açıklamaya izin vermemiştir. Ancak, RUSLE'nin temel çıktısı olan birim alandaki yıllık potansiyel toprak kaybı (A) miktarını etkileyen en önemli faktörün bitki örtüsünün toprak korumadaki rolü olduğunu ileri süren kimi araştırmacıları (Toy ve ark., 1999; Renard ve ark., 2011) doğrulamıştır. Gerçekten de erozyona pozitif ya da negatif etki eden faktörler arasında bitki örtüsünün rolünün diğerlerine nazaran daha belirgin ve dinamik olduğu anlaşılmaktadır.

Veliköy PB için Tablo 49'da yalnızca istatistik olarak anlamlı ($p<0,05$) ve aynı zamanda korelasyon katsayısı en az $r=0,50$ olan ilişkiler verilmiştir. Korelasyon katsayıları $r=0,50$'den daha düşük olan anlamlı ilişkiler Ek-13'te görülebilir.

Tablo 49. Veliköy PB'nde erozyonu önleme fonksiyonuna ilişkin göstergelerin birbirleriyle ve diğer değişkenlerle olan korelasyonları

Erozyonu önleme fonk. ilişkin göstergeler	Diğer değişkenler	Önem düzeyi (çift yönlü)	Pearson'ın r katsayısı
NDVI	Kapalılık	< 0,01	0,61
	Potansiyel toprak kaybı	< 0,01	−0,59
C-faktörü	Kapalılık	< 0,01	−0,54
	Potansiyel toprak kaybı	< 0,01	0,60
Maksimum toprak kaybı ($t\ ha^{-1}\ yıl^{-1}$)	Eğim	< 0,01	0,58
	Önlenen toprak kaybı	**< 0,01**	**0,99**
	Potansiyel toprak kaybı	< 0,01	0,51
Önlenen toprak kaybı ($t\ ha^{-1}\ yıl^{-1}$)	Eğim	< 0,01	0,59
TKPİ (%)	**NDVI**	**< 0,01**	**0,95**
	C-faktörü	**< 0,01**	**−0,97**
	Potansiyel toprak kaybı	< 0,01	−0,67

Veliköy PB'nde erozyonu önleme fonksiyonuna ilişkin göstergelere ait ortalamalarının kategorik değişkenlere göre gösterdiği farklılıklar $p<0,05$ önem düzeyinde incelenmiş ve anlamlı değişim gösterenler Tablo 50'de sunulmuştur. Buna göre C-faktörü değerleri; orman formu, tabakalılık, gözlenen erozyon, bakı ve devrik ağaç varlığına bağlı olarak değişmiştir. C-faktör değerlerinin ortalaması aynı yaşlı ormanlarda 0,0162 iken, değişik yaşlı seçme ormanlarında 0,0067'dir. İstatistik olarak da anlamlı bulunan bu farklılık, seçme ormanlarının toprağı aynı yaşlılara göre en az iki kat daha iyi örttüğü şeklinde yorumlanabilir. Benzer şekilde, tabakalı ormanlarda da C-faktörü daha düşük olmaktadır. Orman formu için yapılan değerlendirme tabakalı ormanlar için de geçerlidir. Sahada erozyon izleri gözlenebiliyorsa C-faktörü değerleri daha yüksek çıkmıştır. Aktif erozyon olayı yüzeydeki bitki örtüsünü tahrip ettiği için C-faktörünün yükselmesi normaldir. Gölgeli bakılardaki C-faktörü ortalaması güneşlilere göre daha düşük bulunmuştur. Gölgeli sahalarda evaporasyon daha az olduğu için buralar daha nemli kalmakta ve mevcut bitki örtüsü daha gür olmaktadır (Barnes ve ark., 1998). Dolayısıyla, C-faktörü düşük çıkmaktadır. Orman tabanında devriklerin bulunduğu sahalarda C-faktörü daha düşük çıkmıştır. Bunun erozyonu önleme fonksiyonundan ziyade sık ve cılız ormanlarda daha fazla devrik olma olasılığıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Veliköy'deki potansiyel toprak kaybı; tabakalılık, gözlenen erozyon, dal artıklarının varlığına bağlı olarak değişmektedir (Tablo 50). Potansiyel toprak kaybının tabakalı

ormanlarda daha düşük olduğu bulunmuştur. Erozyon izlerinin gözlendiği sahalardaki potansiyel toprak kayıplarının ortalaması diğer sahalardan neredeyse beş kat daha fazladır. Bu durum kolaylıkla anlaşılabilir nitelikte olup, aktüelde erozyon izi bulunan sahaların bugünkü amenajman tebliğinde olduğu gibi önemli bir gösterge olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Orman tabanında kesim, doğal dal budanması vd. nedenlerle dal artıklarının bulunması durumunda potansiyel toprak kaybı düşmektedir. Bu düşüş, dal artıklarının malç rolü üstlenerek toprağa ilave koruma sağlaması yanı sıra yüzeysel akış hızını kesmesiyle ilişkilendirilebilir (Morgan, 2005).

Maksimum toprak kaybı miktarı ortalamalarında anlamlı farklılıklara neden olan kategorik değişkenler; orman formu, tabakalılık, teknik müdahale ve yüzeydeki taşlılıktır (Tablo 50). Maksimum toprak kayıpları seçme ormanlarının bulunduğu sahalarda aynı yaşlılara nazaran daha fazladır. Seçme ormanlarının C-faktör değerleri de oldukça düşük olduğu için, bunların önleyebileceği toprak kayıpları da maksimum toprak kaybına paralel olarak artabilir. Seçme ve aynı yaşlı ormanlarda olan ilişkinin benzeri, tabakalı ve tek ya da çok katlı ormanlar için de geçerlidir. Teknik müdahalenin yapıldığı sahalarda maksimum toprak kaybı diğerlerine göre daha düşük çıkmıştır. Ancak bu durum, buralardaki toprak kaybının ormana yapılan teknik müdahale ile azaldığını düşündürtmemelidir. Daha ziyade bitki örtüsü bulunmasa bile, toprak kaybının çok yaşanmayacağı düzlük ya da düşük eğimli sahalarda teknik müdahalelerde bulunulmuştur. Yüzeyde taşlılığın olup olmaması, sahadaki maksimum toprak kaybını etkileyen diğer kategorik değişkendir. Taşlı yüzeylere sahip arazilerdeki maksimum toprak kaybının taşsızlara nazaran daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Önlenen toprak kaybı miktarında anlamlı farklılıklara neden olan kategorik değişkenler; orman formu, tabakalılık, teknik müdahale ve yüzeydeki taşlılıktır (Tablo 50). Tıpkı maksimum toprak kaybında olduğu gibi, önlenen toprak kaybı da seçme ormanların bulunduğu sahalarda daha fazla çıkmıştır. Bu bulgu, seçme ormanlarının daha zorlu topografik koşullara sahip arazilerde bile aynı yaşlılara göre toprağı daha iyi koruduklarını göstermektedir. Benzer şekilde, tabakalı ormanların tek katlı ormanlara nazaran toprağı daha iyi tutarak toprak kaybını daha fazla önlediği anlaşılmıştır. Teknik müdahalede bulunulan orman sahalarında önlenen toprak kaybı

diğerlerine göre daha az bulunmuştur. Buradaki ilişkinin dolaylı olduğu ve bu durumun esasen o sahadaki maksimum toprak kaybıyla ilişkili olduğu değerlendirilmektedir. Yine, maksimum toprak kaybında olduğu gibi taşlı yüzeylere sahip sahalarda önlenebilen toprak kaybı taşsızlara göre daha fazla olmaktadır.

TKPİ'nde anlamlı farklılıklara yol açan kategorik değişkenler; orman formu, tabakalılık, gözlenen erozyon, devrik ağaç ve orman gülünün varlığıdır (Tablo 50). Beklenildiği gibi seçme ve tabakalı ormanlara ait TKPİ ortalaması aynı yaşlı ve tek katlılarınkinden daha yüksektir. Diğer yandan, TKPİ erozyon izi gözlenen sahalarda düşük çıkmıştır. Buradaki sebep−sonuç ilişkisinin hangisinden kaynaklandığını belirlemek zordur. Devrik olan ve olmayan ormanlardaki TKPİ'leri arasında istatistik açıdan anlamlı farklılık bulunmasına rağmen, performans değerleri birbirinden çok uzak değildir. Orman gülü bulunan sahalarda ise, toprak koruma performansı daha iyi çıkmıştır. Tabanda orman gülünün varlığı, ormana ekstra bir tabaka daha kazandırarak toprağı daha iyi korumasına yol açıyor olmalıdır.

Son olarak, NDVI değerlerinin ortalamasını farklılaştıran kategorik değişkenler ise; orman formu, tabakalılık, gözlenen erozyon, bakı ve devrik ağaçların varlığıdır (Tablo 50). Seçme ormanların NDVI ortalaması aynı yaşlılardan daha yüksek çıkmıştır. Bu durum, değişik yaşlı seçme ormanlarında hem yatay hem de düşey kapalılık yüzünden toplam yaprak alanı ve canlılığın daha yüksek olmasıyla açıklanabilir (Morgan, 2005; Bettinger ve ark., 2009). Tabakalı ormanlar da, seçmelerle benzer bulguları ortaya çıkarmışlardır. Hiçbir erozyon izi gözlenmeyen sahalardaki NDVI ortalamaları iz bulunan sahalara nazaran daha yüksek bulunmuştur. Bu olay tıpkı C-faktöründe olduğu gibi erozyon olayının mevcut bitki örtüsünü tahrip etmesiyle açıklanabilir. C-faktöründeki farklılığa benzer bir şekilde gölgeli bakılardaki NDVI ortalaması, güneşlilere göre daha yüksek çıkmıştır. Devrik ağaçlar bulunan sahalardaki NDVI değerleri olmayanlara göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun açıklaması C-faktörününki ile aynıdır.

Genel bir değerlendirme yapmak gerekirse, Veliköy PB'nde C-faktörü ve NDVI ile maksimum ve önlenen toprak kaybı göstergelerini etkileyen değişkenlerin ortak olduğu ve erozyon göstergelerini en çok etkileyen değişkenlerin tabakalılık, orman

formu ve gözlenen erozyon olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle tabakalılıktaki farklılıklar tüm göstergelerin ortalamalarını anlamlı şekilde değiştirmiştir. Gözlenen erozyon ve orman formundaki farklılıklar da birçok gösterge üzerinde etkili olmuştur.

Tablo 50. Veliköy PB'nde aralarında anlamlı ilişki bulunan değişkenler (t-testi)

Erozyonu önleme fonk. ilişkin göstergeler	Kategorik değişkenler (2 alt gruplu)	t-testi önem düzeyi
C-faktörü	Orman formu (1-aynı yaşlı, 2-seçme)	< 0,01
	Tabakalılık (1-tek, 2-iki+ tabaka)	< 0,01
	Gözlenen erozyon (1-yok, 2-var)	< 0,01
	Bakı (1-gölgeli, 2-güneşli)	< 0,05
	Devrik (1-yok, 2-var)	< 0,05
Potansiyel toprak kaybı ($t\ ha^{-1}\ yıl^{-1}$)	Tabakalılık (1-tek, 2-iki+ tabaka)	< 0,05
	Gözlenen erozyon (1-yok, 2-var)	< 0,05
	Dal artıkları (1-yok, 2-var)	< 0,01
Maksimum toprak kaybı ($t\ ha^{-1}\ yıl^{-1}$)	Orman formu (1-aynı yaşlı, 2-seçme)	< 0,05
	Tabakalılık (1-tek, 2-iki+ tabaka)	< 0,05
	Teknik müdahale (1-yok, 2-var)	< 0,05
	Taşlılık (1-yok, 2-var)	< 0,05
Önlenen toprak kaybı ($t\ ha^{-1}\ yıl^{-1}$)	Orman formu (1-aynı yaşlı, 2-seçme)	< 0,05
	Tabakalılık (1-tek, 2-iki+ tabaka)	< 0,05
	Teknik müdahale (1-yok, 2-var)	< 0,05
	Taşlılık (1-yok, 2-var)	< 0,05
TKPİ (%)	Orman formu (1-aynı yaşlı, 2-seçme)	< 0,01
	Tabakalılık (1-tek, 2-iki+ tabaka)	**< 0,001**
	Gözlenen erozyon (1-yok, 2-var)	< 0,01
	Devrik (1-yok, 2-var)	< 0,05
	Orman gülü (1-yok, 2-var)	< 0,01
NDVI	**Orman formu (1-aynı yaşlı, 2-seçme)**	**< 0,001**
	Tabakalılık (1-tek, 2-iki+ tabaka)	< 0,01
	Gözlenen erozyon (1-yok, 2-var)	**< 0,001**
	Bakı (1-gölgeli, 2-güneşli)	< 0,01
	Devrik (1-yok, 2-var)	< 0,05

Veliköy PB'nde erozyonu önleme fonksiyonuna ilişkin göstergelere ait ortalamalarının en az üç alt gruplu kategorik değişkenlere göre gösterdiği farklılıklar $p<0,05$ önem düzeyinde incelenmiş ve anlamlı değişim gösterenler Tablo 51'de gösterilmiştir. Buna göre C-faktörü değerleri; AKAÖ sınıfı, meşcere tipi, gençliğin durumu, tabakalılık, gözlenen erozyon ve sosyal baskı varlığına bağlı olarak değişmiştir. C-faktör değerlerinin ortalaması, boşluklu kapalı ormanlarda normal kapalı ormanlara nazaran daha yüksek çıkmıştır. Ancak, boşluklu kapalı orman ile ne ziraat ne de mera alanları arasında anlamlı bir farklılık bulunabilmiştir. Normal kapalı ormanlar ise C-faktörü açısından diğer tüm AKAÖ sınıfları ile anlamlı farklılıklar göstermiştir. Ziraat ve mera alanları da, kendi aralarında anlamlı fark göstermişlerdir. Orman tabanında gençliğin mevcudiyeti de C-faktörünü etkilemiştir. Alttan yoğun bir şekilde gençliğin geldiği meşcerelerdeki C-faktörü ortalaması, gençliğin olmadığı meşcerelerinkine göre daha düşük çıkmıştır. Tabakalılığın olmadığı tek katlı meşcerelerdeki C-faktörü ortalaması, iki katlı ve çok katlı meşcerelerden daha düşük bulunmuştur. Bu bulgu t-testinden çıkan bulguyla uyumlu olup, hem iki katlı hem de çok katlı meşcerelerin tek katlılara göre toprağı daha iyi koruyabildiklerini göstermesi açısından önemlidir. Herhangi bir erozyon izinin gözlenmediği sahalar ile oluk erozyonu, taş/çamur vb. akma gözlenen sahaların C-faktörleri arasında fark bulunmaktadır. Sosyal baskı olmayan yerlerdeki C-faktörü ortalaması, ana yol kenarında bulunan yerlerden daha düşük çıkmıştır. Yerleşim ile otlatma baskı grupları arasında ve yol ile kaçak kesim baskı grupları arasında da anlamlı farklılıklar vardır.

Potansiyel toprak kaybı miktarları; AKAÖ sınıfı, gözlenen erozyon tipi ve sosyal baskı türüne göre değişmektedir. Örneğin meraların potansiyel toprak kaybı, diğer tüm AKAÖ sınıflarından anlamlı derecede daha yüksek çıkmaktadır (Tablo 51). Bunun nedeni Veliköy'ün kuzeydoğusunda bulunan ve erozyonun en şiddetli yaşandığı alpin ve nival zonlardaki dik dağ yamaçlarının meşcere haritasında Me-E ve Me-T rumuzlarıyla gösterilmiş olmasıdır. Sosyal baskı türlerinden en az biri potansiyel toprak kaybını etkilemektedir. Ancak her baskı türünden yeterli örnek alan alınamadığı için hangi baskının öne çıktığı belirlenememiştir.

Maksimum toprak kaybı miktarları; AKAÖ sınıfı, tabakalılık, toprak nemi, bakı grupları ve toprak türüne göre değişmiştir. Boşluklu kapalı ve verimli orman arazileri

arasında önemli bir farklılık olmayıp, diğer AKAÖ sınıfları arasında anlamlı farklar vardır. Meşcerelerdeki tabakalılık durumunun maksimum toprak kaybını etkilediği anlaşılmış olsa da, hangi alt grup ya da grupların anlamlı farklar yarattığı belirlenememiştir. Bunun nedeni; ANOVA testinden çıkan önem düzeyinin p=0,05'e çok yakın olması olabilir (Tablo 51). Zaten bir alandaki maksimum toprak kaybı (Senaryo 1: çıplak saha koşulları) o alan üzerinde mevcut biyofiziksel yapı ile değil, arazinin topografik yapısı ve iklim özellikleriyle şekillenmektedir. Önem düzeyinin sınır değere çok yakın olması da bununla ilgili olmalıdır. Aynı durum, önlenen toprak kaybı için de geçerlidir. Toprağın kuru olduğu sahalardaki maksimum toprak kaybı, nemli topraklı sahalara göre daha düşük olmaktadır. Bunun nedeni; nemli toprakların kolaylıkla doygunluğa ulaşarak, suyun daha erken yüzeysel akışa geçmesine yol açması olabilir (Kantarcı, 2000; Morgan, 2005). Maksimum toprak kaybı, düz alanlar ile neredeyse tüm bakı grupları arasında farklılık göstermiştir. Bunun nedeni; herhangi bir bakıya sahip yamaçların az da olsa eğimli olma gerekliliğidir (Barnes ve ark., 1998). Eğimli olmayan düzlükler ise ayrı bir bakı grubu olarak sınıflandırılmıştır. Düz arazilerdeki maksimum toprak kaybı genelde diğerlerine göre daha düşük olacağından böyle bir sonuca ulaşılmıştır. Bununla birlikte, diğer bakı gruplarının kendi aralarında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır. Kumlu balçık topraklar ile balçıklı topraklar arasında maksimum toprak kaybı açısından anlamlı farklılık bulunmuştur. Kumlu balçıktaki maksimum toprak kaybı, diğerine göre daha fazladır. Diğer toprak türleri arasında anlamlı farklılık bulunamamıştır.

Önlenen toprak kaybı miktarları; AKAÖ sınıfı, tabakalılık, toprak nemi, bakı grupları ve toprak türüne göre değişmiştir (Tablo 51). Buna göre, ziraat alanları ile normal kapalı orman ve meralar arasında anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Bu farklar doğal karşılanmalıdır. Çünkü normal kapalılıktaki bir orman yapısının sürülen bir tarladaki tarım ürünlerinden daha fazla toprak kaybını önleyeceği öngörülebilir (Morgan, 2005). Tıpkı maksimum toprak kaybında olduğu gibi önlenen toprak kaybında da kuru ve nemli toprak ortalamaları anlamlı farklılıklar göstermiştir. Kuru topraktaki önlenen toprak kaybı nemliye göre daha azdır. Bunun nedeni; maksimum toprak kaybı ile önlenen toprak kaybı arasında çok yüksek korelasyon bulunmasıdır. Diğer bir ifadeyle, kuru topraklarda gerçekleşen maksimum toprak kaybı çok fazla olmadığından, bu topraklar üzerinde bulunan bitki örtüsünün önleyebildiği toprak kaybı da belirli sınırlar

içerisinde kalmaktadır. Tıpkı maksimum toprak kaybında olduğu gibi, önlenen toprak kaybında da düz alanlar hariç diğer bakı gruplarında anlamlı farklılıklar yoktur. Kumlu balçık topraklar ile balçık topraklar arasında ise anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Diğer toprak türlerinde önlenen toprak kaybı miktarları açısından anlamlı farklılıklar yoktur.

TKPİ; AKAÖ sınıfı, tabakalılık, gözlenen erozyon, toprak türü ve sosyal baskıya göre değişmiştir (Tablo 51). Buna göre, boşluklu kapalı ormanların performansı hem normal kapalı ormanlardan hem de meralardan farklı ve daha azdır. Meranın performansı ise, normal kapalılıktaki bir ormandan anlamlı derecede azdır ($p<0,001$). Çok tabakalı meşcerelerin toprak koruma performansı iki tabakalılardan, onunki de tek tabakalılardan anlamlı derecede yüksek çıkmıştır. Bu beklenen bir sonuçtur (Kalıpsız, 1982; OGM, 2014c). TKPİ açısından toprak türleri arasında belli oranlarda farklılıklar bulunmasına rağmen, ön plana çıkacak kadar etkili bir toprak türüne rastlanmamıştır. Sosyal baskı gruplarından en az bir tanesi TKPİ'ni etkilemiştir. Ancak baskı gruplarının her birinden yeterli örnek alan toplanamadığı için post-hoc testi uygulanamamış ve hangi alt grubun etkili olduğu belirlenememiştir.

NDVI değerleri; AKAÖ sınıfı, meşcere tipi, gençliğin durumu, tabakalılık, gözlenen erozyon, toprak türü, sosyal baskı ve dip kütük çap sınıfına göre anlamlı olarak değişmiştir (Tablo 51). Meraların NDVI ortalaması, diğer tüm AKAÖ sınıflarından daha düşüktür. Bunun nedeni; anakayanın açığa çıktığı dağ zirvelerinin, meşcere haritasında mera sınıfında yer almasıdır (OGM, 2013). Normal kapalı ormanların ortalaması ise diğer tüm AKAÖ sınıflarından daha yüksektir. Bunun nedeni; belirli bir kapalılık derecesine ulaşmış orman ekosisteminin diğer ekosistemlerden daha fazla yaprak ve klorofil barındırmasıdır (Morgan, 2005; Bettinger ve ark., 2009). Alttan gelen gençliğin yoğun ve iyi durumda olduğu meşcerelerin NDVI ortalaması, gençlik bulunmayan meşcerelerinkine göre daha yüksek bulunmuştur. Ancak, gençliğin durumunun zayıf ya da orta derecede olması NDVI'da anlamlı bir fark yaratacak kadar etkili olamamıştır. Tek katlı meşcerelerin ortalama NDVI'ı çok katlılardan düşük, ancak iki katlılardan anlamlı derecede farklı değildir. Tıpkı C-faktöründe olduğu gibi erozyon izi gözlenmeyen sahalar ile oluk ve taş/çamur akması gözlenen sahalar arasında NDVI açısından anlamlı farklılıklar mevcuttur. Kumlu balçık topraklar ve

balçıklı kum arasında NDVI açısından anlamlı fark vardır. Ancak diğer toprak türleri arasında herhangi bir farklılık görülememiştir. NDVI, toprak türünden ziyade üzerinde bulunan vejetasyon örtüsü tarafından şekillenen bir indis olduğu için, toprak türü hakkında ancak dolaylı bir ön fikir verebilir (Tucker, 1979; Durigon ve ark., 2014). Bu yüzden iki toprak türü arasında bulunan farklılık tesadüfi olabilir. NDVI ortalamalarına anlamlı etki eden sosyal baskı grupları, C-faktörüne etki edenlerle aynıdır. Bunun nedeni; C-faktörü haritasının NDVI değerleri üzerinden modellenmiş olmasıdır. Dip kütük çap sınıfları da, NDVI ortalamasında anlamlı değişikliklere yol açmıştır. I. çap sınıfındaki (8−19,9 cm) dip kütüklerin bulunduğu örnek alanların NDVI ortalaması, II. çap sınıfındaki (20−35,9 cm) kütüklerin bulunduğu alanlara göre daha düşük çıkmıştır. Ancak ANOVA testinin önem düzeyi sınırdadır (p=0,049). Daha kalın kütüklerin bulunduğu meşcerelerdeki toplam yaprak alanı da yüksek olacağından, NDVI'ın yüksek çıkması şaşırtıcı olmamıştır.

Genel bir değerlendirme yapıldığında, maksimum toprak kaybı ve önlenen toprak kaybı göstergelerini etkileyen değişkenlerin aynı olduğu; C-faktörü ve NDVI göstergelerini etkileyen değişkenlerin benzer olduğu; AKAÖ sınıfı değişkeninin tüm göstergeleri etkilediği; tabakalılık değişkeninin potansiyel toprak kaybı hariç tüm göstergeleri etkilediği; bu nedenle bu iki değişkenin erozyonun önlenmesi konusunda oldukça belirleyici olabileceği söylenebilir. Ayrıca ANOVA ve t-testi sonuçlarının genel anlamda birbiriyle uyumlu oldukları da görülmektedir.

Tablo 51. Veliköy PB'nde aralarında anlamlı ilişki bulunan değişkenler (ANOVA)

Göstergeler	Kategorik değişkenler (en az 3 alt gruplu)	ANOVA önem d.	Levene önem d.	Post-hoc test
C-faktörü	AKAÖ (1-boş.kap.orm, 2-ver.orman, 3-Z, 4-Me)	< 0,001	< 0,001	Tamhane
	Meşcere tipi (1-yapraklı, 2-ibreli, 3-karışık)	< 0,001	< 0,001	Tamhane
	Gençlik durumu (0-yok, 1-zayıf, 2-orta, 3-iyi)	< 0,01	< 0,01	Tamhane
	Tabakalılık (1-tek tabakalı, 2-iki tab., 3-çok tab.)	< 0,05	< 0,05	Tamhane
	Göz. er. (0yok,1yüzey,2oluk,3oyu.,4hey.,5akma)	< 0,001	< 0,001	Tamhane
	Sos.baskı(1yok2kaçak3yerl.4otla.5rekr.6yol7çok)	< 0,001	< 0,001	Tamhane
Potansiyel toprak kaybı ($t\ ha^{-1}\ yıl^{-1}$)	AKAÖ (1-boş.kap.orm, 2-ver.orman, 3-Z, 4-Me)	< 0,001	< 0,001	Tamhane
	Göz. er. (0yok,1yüzey,2oluk,3oyu.,4hey.,5akma)	< 0,001	< 0,001	Tamhane
	Sos.baskı(1yok2kaçak3yerl.4otla.5rekr.6yol7çok)	< 0,05	< 0,001	–
Maksimum toprak kaybı ($t\ ha^{-1}\ yıl^{-1}$)	AKAÖ (1-boş.kap.orm, 2-ver.orman, 3-Z, 4-Me)	< 0,01	< 0,01	Tamhane
	Tabakalılık (1-tek tabakalı, 2-iki tab., 3-çok tab.)	< 0,05	> 0,05	Tukey
	Top.nemi (1-p.kuru,2-kuru,3-serin,4-nemli,5-yaş)	< 0,01	< 0,01	Tamhane
	Bakı (1düz,2K,3KD,4D,5GD,6G,7GB,8B,9KB)	< 0,05	< 0,01	Tamhane
	Top.türü (1KuKiB,2KiB,3KuB,4B,5BKu,6KuKi)	< 0,05	< 0,05	Tamhane
Önlenen toprak kaybı ($t\ ha^{-1}\ yıl^{-1}$)	AKAÖ (1-boş.kap.orm, 2-ver.orman, 3-Z, 4-Me)	< 0,01	< 0,01	Tamhane
	Tabakalılık (1-tek tabakalı, 2-iki tab., 3-çok tab.)	< 0,05	> 0,05	Tukey
	Top.nemi (1-p.kuru,2-kuru,3-serin,4-nemli,5-yaş)	< 0,01	< 0,01	Tamhane
	Bakı (1düz,2K,3KD,4D,5GD,6G,7GB,8B,9KB)	< 0,05	< 0,01	Tamhane
	Top.türü (1KuKiB,2KiB,3KuB,4B,5BKu,6KuKi)	< 0,05	< 0,05	Tamhane
TKPİ (%)	AKAÖ (1-boş.kap.orm, 2-ver.orman, 3-Z, 4-Me)	< 0,001	< 0,001	Tamhane
	Tabakalılık (1-tek tabakalı, 2-iki tab., 3-çok tab.)	< 0,05	< 0,01	Tamhane
	Göz. er. (0yok,1yüzey,2oluk,3oyu.,4hey.,5akma)	< 0,001	< 0,05	Tamhane
	Top.türü (1KuKiB,2KiB,3KuB,4B,5BKu,6KuKi)	< 0,05	< 0,05	Tamhane
	Sos.baskı(1yok2kaçak3yerl.4otla.5rekr.6yol7çok)	< 0,001	< 0,001	–
NDVI	AKAÖ (1-boş.kap.orm, 2-ver.orman, 3-Z, 4-Me)	< 0,001	< 0,01	Tamhane
	Meşcere tipi (1-yapraklı, 2-ibreli, 3-karışık)	< 0,001	< 0,05	Tamhane
	Gençlik (0-yok,1-zayıf,2-orta,3-iyi)	< 0,05	< 0,05	Tamhane
	Tabakalılık (1-tek tabakalı, 2-iki tab., 3-çok tab.)	< 0,01	< 0,01	Tamhane
	Göz. er. (0yok,1yüzey,2oluk,3oyu.,4hey.,5akma)	< 0,001	< 0,05	Tamhane
	Top.türü (1KuKiB,2KiB,3KuB,4B,5BKu,6KuKi)	< 0,05	> 0,05	Tukey
	Sos.baskı(1yok2kaçak3yerl.4otla.5rekr.6yol7çok)	< 0,001	< 0,001	Tamhane
	Dip kütük çap sınıfı (1-I, 2-II, 3-III, 4-IV)	< 0,05	> 0,05	Tukey

3.4.2.2. Olur Planlama Birimi

Olur PB'ndeki envanter çalışmalarıyla ölçülen sürekli değişkenler ile erozyonu önleme fonksiyonuna ilişkin göstergeler arasında istatistik açıdan anlamlı korelasyon görülenler Tablo 52'de sıralanmıştır. Tabloya göre NDVI ile yüzey taşlılığı arasında negatif; göğüs yüzeyi, ağaç serveti, orta boy, üst boy, kapalılık, ölü örtü kalınlığı ve topraktaki OM içeriği arasında ise pozitif yönlü ilişkiler bulunmuştur. Özellikle orta boy, üst boy ve kapalılık ile olan ilişki şiddetleri kuvvetli düzeydedir. Kapalılık ile olan ilişkinin yönü ve şiddeti tıpkı Veliköy'deki gibidir. NDVI, bir vejetasyon indisi olduğu için söz konusu ilişki oldukça doğaldır (Tucker, 1979; Vatandaşlar ve Yavuz, 2017). Meşcerenin orta ve üst boyuyla kurulan kuvvetli ilişki ise ormancılık çalışmaları açısından oldukça önemli olan biyokütle ve bonitet sınıfı tahminlerinin Olur'da NDVI ile orta başarı düzeylerinde yapılabileceğini göstermiştir. Özellikle amenajman planlama çalışmalarında daha yüksek başarı arzu edilirse, NDVI diğer bağımsız değişkenlerle bir arada kullanılarak modellemeler yapılabilir. Zaten bu konuda yapılmış birçok çalışma mevcuttur (Kayitakire ve ark., 2006; Mısır, 2013; Kahriman ve ark., 2014; Bulut ve ark., 2016) ve belirli bir doygunluk düzeyine ulaşılmıştır. Söz konusu çalışmalardaki korelasyon katsayıları Tablo 52'dekilere yakındır. Diğer taraftan, NDVI ile ölü örtü kalınlığı ve OM içeriği arasında da kuvvetli denilebilecek ilişkilere rastlanmıştır. Özellikle ölü örtü kalınlığının NDVI ile tahmin edilmesi konusunda yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak, buradaki ilişkinin dolaylı olduğu düşünülmektedir. Ormanda birim alandaki yaprak miktarı kapalılığa paralel olarak arttıkça orman tabanına dökülen iğne ve geniş yapraklar da artacak ve ölü örtünün kalınlaşmasını sağlayacaktır (Berg ve Laskowski, 2006; Özdemir ve ark., 2020). Dolayısıyla, söz konusu ilişki esasen kapalılıkla direkt ilgili olup, ölü örtüyle dolaylı yoldan ilintilidir (Barnes ve ark., 1998). Nitekim, Veliköy'de bu tip bir ilişkiye rastlanmaması da, bu düşünceyi destekler niteliktedir. Topraktaki OM içeriği ve NDVI arasındaki ilişkide de benzer bir mekanizmanın rol oynadığı söylenebilir.

C-faktörü ile ilişki içerisinde olan değişkenler de NDVI ile ilişkili olanlarla aynıdır. C-faktörü NDVI'dan türetildiği için, aynı değişkenlerin ilişkili olması sürpriz değildir.

Farklılık yalnızca ilişkilerin yönünde görülmüştür (Tablo 52). Bunun nedeni; NDVI artarken C-faktörünün düşmesidir (Smith ve ark., 2007; Vatandaşlar ve Yavuz, 2017).

Potansiyel toprak kaybı ile yamaç uzunluğu arasında r=0,69 şiddetinde pozitif yönlü kuvvetli bir ilişki saptanmıştır ($p<0,01$). RUSLE modelindeki LS faktöründe *slope length (L)* olarak yer alan yamaç uzunluğu değişkeninin yüzeysel akış ve dolayısıyla toprak kaybını arttırma yönündeki etkisi erozyon araştırmacıları tarafından iyi bilinmektedir (Wischmeier ve Smith, 1978; Renard ve ark., 1997). Bu çalışmada bulunan ilişki de, araştırmacıların bulgu ve tespitleriyle uyumludur. Fakat bu ilişkinin Veliköy'de bulunmayıp yalnızca Olur'da görülmesi akıllarda soru işaretleri yaratabilir. Esasen, benzer ve istatistik olarak anlamlı ($p<0,01$) bir ilişki Veliköy'de de mevcuttur. Ancak, ilişkinin şiddeti r=0,50'den düşük olduğu için Tablo 49'da yer verilmemiştir. Söz konusu ilişki Ek-13'te incelenebilir.

Maksimum toprak kaybı ile anlamlı korelasyon gösteren değişkenler; ölü örtü kalınlığı, eğim ve önlenen toprak kaybıdır. Tüm değişkenlerle olan korelasyonun yönü pozitiftir. Ölü örtü kalınlığı ile olan orta kuvvetteki ilişki anlamlandıralamamıştır. Bu ilişkinin tesadüf eseri ortaya çıktığı düşünülmektedir. Eğim ve önlenen toprak kaybı ile bulunan ilişki ise tıpkı Veliköy'deki gibidir. Arazide bitki örtüsünün olmadığı varsayılan Senaryo 1 ile hesaplanan maksimum toprak kaybı miktarı üzerinde, eğimin her iki çalışma alanında da başat rol oynadığı anlaşılmaktadır.

Önlenen toprak kaybı ile ölü örtü kalınlığı ve eğim arasında korelasyon vardır (Tablo 52). Ölü örtü kalınlığı arttıkça önlenen toprak kaybının da artması oldukça anlamlı ve literatürle uyumludur. Nitekim, Chi ve ark. (2008) Çin'de kurdukları erozyon parsellerinde aynı yükseltide bulunan ölü örtülü ve ölü örtüsüz Göknar ormanları arasındaki toprak kaybı farkının ölü örtü tabakası bulunan ormanlarda 71 kata kadar düştüğü sonucuna ulaşmışlardır. Bu tez çalışmasından çıkan bulgular da, ölü örtü tabakasındaki kalınlaşmanın orman ekosistemlerinin erozyonu önleme fonksiyonunu arttırdığı yönündedir. Eğimle olan ilişki ise dolaylı olabilir. Çünkü eğim esasen çıplak bir alanda meydana gelebilecek maksimum toprak kaybını belirlemektedir. O alandaki maksimum toprak kaybı ne kadar yüksek olursa, bitki örtüsü tarafından önlenen toprak kaybının da (kapasite) yükseleceği düşünülebilir.

Erozyonu önleme fonksiyonunun en önemli performans göstergelerinden olan TKPİ ile ilişkili olduğu bulunan değişkenler; orta boy, üst boy, kapalılık, ölü örtü kalınlığı, taşlılık, OM içeriği, NDVI ve C-faktörüdür. Taşlılık ve C-faktörü hariç diğer değişkenlerle olan korelasyonun yönü pozitiftir. Beklenildiği gibi orta boy, üst boy, kapalılık, ölü örtü kalınlığı, OM içeriği ve NDVI değerleri arttıkça ormanların TKPİ'leri de artmıştır. Bunun nedeni bonitet−üst boy ilişkisi olabilir. Bilindiği gibi iyi bonitetli sahalarda meşcerenin üst boyu artmaktadır (Kahriman, 2011). Üst boyla beraber genellikle yaprak ve dal biyokütlesi de arttığı için toprağın yağmur damlalarına karşı korunumu iyileşebilir (Barnes ve ark., 1998). Özellikle NDVI ve C-faktörü ile olan ilişkiler çok kuvvetlidir. Bunların şiddeti sırasıyla; r=0,82 ve r=−0,93'tür. Bu kadar yüksek olan korelasyon katsayıları, Olur'daki bitki örtüsünün TKPİ'nin yalnızca NDVI bağımsız değişkeni ile bile tahmin edilebileceğini göstermektedir. C-faktörü ile olan korelasyon katsayısı daha yüksek olmasına rağmen NDVI'ın tercih edilmesi gerekliliği, C-faktörünün modellenmesinde yaşanabilecek bir takım zorluklardandır (Vatandaşlar ve Yavuz, 2017). Ayrıca Olur'daki NDVI ilişkisine benzer bir ilişkinin Veliköy PB'nde de bulunması bu bağımsız değişkenin pratik bir gösterge olarak kullanılabileceği izlenimini güçlendirmektedir.

Olur PB için Tablo 52'de yalnızca istatistik olarak anlamlı ($p<0,05$) ve aynı zamanda korelasyon katsayısı en az r=0,50 olan ilişkiler verilmiştir. Hem Olur hem de Veliköy'ün tablolarında bulunan tüm ilişkilerin en az %99 güven düzeyinde olması örnekleme tasarımı ve testin sağlamlığını göstermektedir. Halbuki ormancılık çalışmalarında genellikle %95 güven düzeyinde çalışmanın yeterli olduğu bilinmektedir (Yavuz, 1992; Akalp, 2016). Korelasyon katsayıları r=0,50'den daha düşük olan diğer anlamlı ilişkiler Ek-14'te görülebilir.

Olur PB'nde erozyonu önleme fonksiyonuna ilişkin göstergelere ait ortalamaların kategorik değişkenlere göre gösterdiği farklılıklar $p<0,05$ önem düzeyinde incelenmiş ve anlamlı değişim gösterenler Tablo 53'te gösterilmiştir. Buna göre C-faktörü değerleri; meşcere karışımı, sağlık durumu, diri örtü mevcudiyeti, gençlik durumu, tabakalılık, teknik müdahale, gözlenen erozyon, bakı, sosyal baskı, kaçak kesim, dikili kuru mevcudiyeti, devrik ağaç mevcudiyeti, dip kütük ve dal artıklarına bağlı olarak değişmiştir. Saf meşcerelerin C-faktörü ortalaması, karışıklara nazaran daha düşük

çıkmıştır. Bunun nedeni; Olur PB'ndeki verimli ormanların ezici çoğunluğuna saf Sarıçam meşcerelerinin hakim olması ve oldukça sınırlı kalan yapraklı karışık meşcerelerin yalnızca yetişme ortamı kötü yerlerde ya da dere kenarlarında bulunması olabilir (OGM, 2015b). Sağlıklı ve hasta meşcereler arasında da C-faktörü ortalamaları yönünden anlamlı farklar mevcuttur. Diğer yandan, diri örtünün bulunmadığı meşcerelerin C-faktör ortalaması diri örtü bulunanlara göre daha düşük çıkmıştır. Bunun nedeni; diri örtü tabakasının genellikle gevşek kapalılıktaki tepe taçlarından orman tabanına sızan güneş ışıkları olan meşcerelerde yaygınlaşmasıdır (Barnes ve ark., 1998). Kapalılık düştükçe C-faktörünün artacağı ise aşikardır (Vatandaşlar ve Yavuz, 2017). Altta gençliğin olduğu meşcerelerin C-faktör ortalaması gençlik olmayanlara göre daha düşük çıkmıştır. Bunun nedeni; orman tabanındaki fırça gençliğin meşcerenin toplam yaprak alanına katkı sağlayarak onu yükseltmesi ve dolayısıyla C-faktörünü düşürmesi olabilir. Tabakalı yapıya sahip meşcerelerin C-faktör ortalaması da tek katlılara nazaran daha düşüktür. Bu bulgu, çok katlı meşcerelerin toprağı daha iyi koruduğu tezini destekler niteliktedir (Kalıpsız, 1982; OGM, 2014c). Meşcereye aralama vb. teknik bir müdahale yapıldıysa C-faktör ortalaması düşük çıkmıştır. Bunun nedeni; sıklık bakımı, aralama vd. silvikültürel müdahalelerin sık ve 2−3 kapalı meşcerelere yani zaten C-faktör yönünden güçlü olan ormanlara yapılmasıdır. Aksi takdirde müdahale gören meşcerenin biyokütlesi düşeceğinden C-faktörünün de genel olarak artacağı beklenir (Vatandaşlar ve Yavuz, 2017). Gözlenebilen bir erozyon izi olan sahaların, C-faktörü ortalamalarının daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Aktif erozyon olayı genellikle toprakla beraber üzerindeki bitki örtüsünü de götürdüğünden buralar çıplak kalmakta ve C değeri yükselmektedir. Gölgeli bakıya sahip örnek alanların ort. C-faktörü güneşli bakıya sahip olanlara nazaran daha düşük çıkmıştır. Bunun nedeni; gölgeli bakıların toprağı daha nemli olduğu için buraların bitki gelişimine daha müsait olması olabilir (Kantarcı, 2000). C-faktör ortalamaları sosyal baskının söz konusu olduğu ve olmadığı alanlar arasında da anlamlı değişiklikler göstermiştir. Benzer şekilde, kaçak kesimin olup olmaması da C-faktörü ortalamalarını değiştirmiştir. Dikili kuru ağaçların varlığı da C-faktör ortalamalarını değiştiren diğer kategorik değişkendir. Ormanda dikili kurular var ise C-faktörü daha düşük bulunmaktadır. Sahada devrik ağaçların bulunup bulunmamasına göre de C-faktörü etkilenmektedir. Devrik olan meşcerelerde C-faktörü daha düşük çıkmıştır. Benzer şekilde dip kütük olan meşcerelerde de C-faktörü

olmayanlara göre daha düşük çıkmaktadır. Son olarak, yerde bulunan dal artıkları da C-faktörü ortalamasını değiştirmektedir. Buna göre, dal artıklarının bulunduğu meşcerelerin ortalaması, diğerlerinden daha düşük bulunmuştur. Literatürde sosyal baskı, silvikültürel müdahale ve dikili kuru ağaçların C-faktörü üzerine etkilerini inceleyen herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Tablo 52. Olur PB'nde erozyonu önleme fonksiyonuna ilişkin göstergelerin birbirleriyle ve diğer değişkenlerle olan korelasyonları

Erozyonu önleme fonk. ilişkin göstergeler	Diğer değişkenler	Önem düzeyi (çift yönlü)	Pearson'ın r katsayısı
NDVI	Göğüs yüzeyi	< 0,01	0,62
	Ağaç serveti	< 0,01	0,59
	Orta boy	< 0,01	0,79
	Üst boy	< 0,01	0,70
	Kapalılık	< 0,01	0,76
	Ölü örtü kalınlığı	< 0,01	0,65
	Taşlılık	< 0,01	−0,58
	Organik madde içeriği	< 0,01	0,67
C-faktörü	Göğüs yüzeyi	< 0,01	−0,62
	Ağaç serveti	< 0,01	−0,54
	Orta boy	< 0,01	−0,69
	Üst boy	< 0,01	−0,71
	Kapalılık	< 0,01	−0,76
	Ölü örtü kalınlığı	< 0,01	−0,63
	Taşlılık	< 0,01	0,65
	Organik madde içeriği	< 0,01	−0,67
Potansiyel toprak kaybı (t ha^{-1} $yıl^{-1}$)	Yamaç uzunluğu	< 0,01	0,69
Maksimum toprak kaybı (t ha^{-1} $yıl^{-1}$)	Ölü örtü kalınlığı	< 0,01	0,53
	Eğim	< 0,01	0,51
	Önlenen toprak kaybı	**< 0,01**	**0,99**
Önlenen toprak kaybı (t ha^{-1} $yıl^{-1}$)	Ölü örtü kalınlığı	< 0,01	0,54
	Eğim	< 0,01	0,50
TKPİ (%)	Orta boy	< 0,01	0,68
	Üst boy	< 0,01	0,59
	Kapalılık	< 0,01	0,69
	Ölü örtü kalınlığı	< 0,01	0,59
	Taşlılık	< 0,01	−0,62
	Organik madde içeriği	< 0,01	0,63
	NDVI	**< 0,01**	**0,82**
	C-faktörü	**< 0,01**	**−0,93**

Potansiyel toprak kaybı miktarı; meşcere karışımı, gözlenen erozyon, bakı ve dip kütük varlığına bağlı olarak değişmiştir (Tablo 53). Saf meşcerelerden alınmış örnek alanlardaki potansiyel toprak kaybı, karışık meşcerelerdekinden daha düşük çıkmıştır. Bunun nedeni; bir önceki paragrafta C-faktörü için belirtilen nedenle aynıdır. Gözlenen erozyonun olduğu sahaların potansiyel toprak kaybı, olmayan normal sahalara göre daha yüksek bulunmuştur. Gölgeli bakılardaki potansiyel toprak kayıpları güneşlilere göre daha düşük çıkmıştır. Bunun nedeni; özellikle Olur PB gibi yarıkurak bölgelerde gölgeli bakıların bitki örtüsü açısından daha zengin oluşudur (Duman, 2017). Bu zenginlik toprak kaybını düşürmüştür. Ormanda dip kütüklerin bulunması da potansiyel toprak kaybını düşürmüştür.

Maksimum toprak kaybı miktarında anlamlı farklılıklara yol açan değişkenler; meşcere karışımı ve sahada liken/yosun varlığıdır (Tablo 53). Saf meşcerelerin maksimum toprak kaybının karışık meşcerelere göre daha fazla olduğu bulunmuştur. Maksimum toprak kaybını etkileyen faktörlerin içinde vejetasyon yapısı bulunmadığı için, bu bulgunun topografya ve iklim özellikleriyle ilgili olduğu düşünülmektedir. Sahada liken ve yosun varlığı durumunda maksimum toprak kaybı ortalamaları anlamlı şekilde artarak farklılaşmıştır. Bu tip sahalar genellikle yüksek rakımlarda yer aldıkları için R-faktör değerleri de yüksektir (Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016). Bu nedenle, yağışın aşındırıcı etkisinin maksimum toprak kaybı ortalamasını arttırabileceği söylenebilir.

Önlenen toprak kaybı miktarında anlamlı farklılıklara yol açan değişkenler; meşcere karışımı, liken/yosun varlığı ve Geven/Sürünücü Ardıç varlığıdır (Tablo 53). Tıpkı maksimum toprak kaybında olduğu gibi, önlenen toprak kaybı da saf meşcerelerde daha fazladır. Bu durum saf meşcerelerin toprak koruma performansının karışık meşcerelere nazaran daha yüksek olmasından kaynaklanabileceği gibi, saf meşcerelerin bulunduğu sahalardaki topografya ve iklim özelliklerinin daha çetin olmasından da kaynaklanabilir. Muhtemelen bu sonuca ikisinin de katkısı olmuştur. Sahada liken ve yosunların varlığı önlenen toprak kaybını arttırmıştır. Aynı durum maksimum toprak kaybında da yaşandığı ve iki gösterge arasında çok kuvvetli ($p<0,001$) ilişki bulunduğu için bu bulgu şaşırtmamıştır. Önlenen toprak kaybını

etkileyen diğer kategorik değişken sahada Geven/Sürünücü Ardıç gibi yer örtücü elemanların bulunmasıdır.

TKPİ'nde değişikliklere neden olan değişkenler; meşcere karışımı, gençlik durumu, tabakalılık, teknik müdahale, gözlenen erozyon, bakı, sosyal baskı, kaçak kesim, devrik ağaç, dip kütük ve dal artıklarının varlığıdır (Tablo 53). Saf meşcerelerin TKPİ'leri karışık meşcerelerden anlamlı olarak daha yüksek çıkmıştır. Bu bulgu Olur PB'nde saf meşcerelerin toprağı korumada daha başarılı olduklarını gösterir. Yerde gençliğin olduğu meşcerelerin TKPİ'leri olmayanlarınkine göre daha yüksek çıkmıştır. Bu bulgu orman tabanında bulunan fidanların da toprağı koruma konusunda faydalı olabileceğini göstermesi açısından önemlidir. Tabakalı meşcerelerin TKPİ beklendiği gibi tek katlılara nazaran daha yüksek çıkmıştır (Kalıpsız, 1982). Teknik müdahale yapılan ve yapılmayan meşcerelerin TKPİ'lerinde de anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Erozyon izinin gözlendiği sahaların TKPİ daha düşük çıkmıştır. Gölgeli bakıların TKPİ ise güneşli bakılara göre pozitif yönde farklıdır. Gölgeli bakılardaki bitki örtüsü daha canlı ve gür olduğundan bu durum beklentilerle uyuşmuştur (Barnes ve ark., 1998). TKPİ, sosyal baskının olduğu ve olmadığı sahalar arasında da anlamlı farklılıklar göstermiştir. Ancak, bu farklılık beklenilenin aksine sosyal baskılı sahalar lehine olmuştur. Yani otlatma, yerleşim, yol vd. baskılara sahip örnek alanların performansı diğerlerine göre daha yüksek çıkmıştır. Bu durum iki şekilde açıklanabilir. Birincisi; ilgili baskı türlerinden yeteri kadar örnek alan alınamadığı için böyle çelişkili bir sonuç çıkmış olabilir. İkinci sebep ise; hali hazırda iyi bonitetli ve güçlü ormanlar sosyal baskıya maruz kalmaktadır. Bu ormanlar zaten kuvvetli yapıya sahip olduklarından TKPİ'leri de baskıya rağmen yüksek çıkmaktadır. Aynı durum kaçak kesim değişkeni için de geçerlidir. Devrik olan meşcerelerin TKPİ daha yüksek çıkmıştır. Benzer şekilde dip kütük bulunan meşcerelerin performansı da daha yüksektir. Son olarak, yerde bulunan dal artıkları da TKPİ üzerinde etkili olmuştur. Buna göre, dal artıklarının bulunduğu meşcerelerde ortalama diğerlerinden daha yüksek çıkmıştır.

NDVI ortalamalarını farklılaştıran değişkenler ise; meşcere karışımı, gençlik durumu, tabakalılık, teknik müdahale, gözlenen erozyon, bakı, sosyal baskı, kaçak kesim, devrik ağaç, dip kütük ve yerde dal artıklarının varlığıdır (Tablo 53). Saf

meşcerelerdeki NDVI ortalaması karışık meşcerelerden farklı ve daha yüksektir. Gençliğin mevcut olduğu meşcerelerin NDVI ortalamaları, olmayanlara göre daha yüksektir. Bu bulgu gençlikle beraber C-faktörünün düşmesi ve TKPİ'nin artması ile uyumludur. Tabakalı yapıya sahip meşcerelerin NDVI ortalamaları da tek katlılara göre daha yüksektir. Teknik müdahale yapılan ve yapılmayan meşcerelerin ortalama NDVI değerlerinde anlamlı farklılıklar bulunmuştur. NDVI'daki bu farklılık C-faktörüyle ilgili paragrafta anlatılan nedenlerden kaynaklanmıştır. Erozyon izinin gözlenebildiği sahaların NDVI ortalaması, diğer sahalardan daha düşük çıkmıştır. Bunun nedeni; canlı bitki örtüsünün yüzey erozyonuyla taşınıp alandan uzaklaşmasıdır. Gölgeli ve güneşli bakılar arasında NDVI açısından gölgeli bakı lehine farklılık vardır. Sosyal baskı gören ve görmeyen alanlar arasında NDVI açısından önemli farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Aynı durum kaçak kesim için de geçerlidir. Devrik olan sahalarda NDVI ortalamaları daha fazla bulunmuştur. Bunun nedeni; devriklerin sık ve cılız meşcerelerde daha çok meydana gelmesi olabilir. Sıklık oranı NDVI'ı arttırırken devrik oluşma olasılığını da arttırmıştır. Tıpkı devrik ağaç gibi orman tabanında dip kütüklerin var olduğu meşcerelerin NDVI ortalaması diğerlerinden daha fazladır. Son olarak, yerde bulunan dal artıkları da NDVI ortalamasını değiştirmiştir. Buna göre, dal artıklarının bulunduğu meşcerelerin ortalama NDVI'ı diğerlerinden daha yüksektir.

Tablo 53 genel olarak değerlendirildiğinde; kategorik değişkenlerden en çok etkilenen göstergenin C-faktörü olduğu, potansiyel/maksimum/önlenen toprak kaybı göstergelerinin meşcere yapısından çok topografya ve iklim özellikleriyle şekillendiği için kategorik değişkenlerden pek etkilenmediği, C-faktörünü etkileyen değişkenlerin hemen hepsinin NDVI'ı da etkilediği, maksimum toprak kaybını etkileyen değişkenlerin hemen hepsinin önlenen toprak kaybını da etkilediği, meşcere karışımının tüm göstergelerde anlamlı farklılıklara yol açtığı, gençlik ve tabakalılık değişkenlerinin de özellikle C-faktörü, NDVI ve TKPİ göstergelerini değiştirme gücüne sahip olduğu ve Olur ile Veliköy'deki göstergelerde önemli farklılıklar yaratan değişkenlerin bazılarının aynı bir kısmının ise farklı olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 53. Olur PB'nde aralarında anlamlı ilişki bulunan değişkenler (t-testi)

Erozyonu önleme fonk. ilişkin göstergeler	Kategorik değişkenler (2 alt gruplu)	t-testi önem düzeyi
C-faktörü	**Meşcere karışımı (1-saf, 2-karışık)**	**< 0,001**
	Sağlık durumu (1-sağlıklı, 2-değil)	< 0,01
	Diri örtü (1-yok, 2-var)	< 0,05
	Gençlik (1-yok, 2-var)	< 0,01
	Tabakalılık (1-tek tabaka, 2-iki+ tabaka)	< 0,01
	Teknik müdahale (1-yok, 2-var)	**< 0,001**
	Gözlenen erozyon (1-yok, 2-var)	**< 0,001**
	Bakı (1-gölgeli, 2-güneşli)	**< 0,001**
	Sosyal baskı (1-yok, 2-var)	**< 0,001**
	Kaçak kesim (1-yok, 2-var)	< 0,01
	Dikili kuru (1-yok, 2-var)	< 0,05
	Devrik (1-yok, 2-var)	< 0,01
	Dip kütükler (1-yok, 2-var)	**< 0,001**
	Dal artıkları (1-yok, 2-var)	**< 0,001**
Potansiyel toprak kaybı ($t\ ha^{-1}\ yıl^{-1}$)	Meşcere karışımı (1-saf, 2-karışık)	< 0,05
	Gözlenen erozyon (1-yok, 2-var)	< 0,01
	Bakı (1-gölgeli, 2-güneşli)	< 0,01
	Dip kütükler (1-yok, 2-var)	< 0,05
Maksimum toprak kaybı ($t\ ha^{-1}\ yıl^{-1}$)	**Meşcere karışımı (1-saf, 2-karışık)**	**< 0,001**
	Liken/yosun oluşumu (1-yok, 2-var)	**< 0,001**
Önlenen toprak kaybı ($t\ ha^{-1}\ yıl^{-1}$)	**Meşcere karışımı (1-saf, 2-karışık)**	**< 0,001**
	Liken/yosun oluşumu (1-yok, 2-var)	**< 0,001**
	Geven/sürünücü Ardıç (1-yok, 2-var)	< 0,05
TKPİ (%)	Meşcere karışımı (1-saf, 2-karışık)	< 0,01
	Gençlik (1-yok, 2-var)	< 0,01
	Tabakalılık (1-tek tabaka, 2-iki+ tabaka)	< 0,01
	Teknik müdahale (1-yok, 2-var)	**< 0,001**
	Gözlenen erozyon (1-yok, 2-var)	**< 0,001**
	Bakı (1-gölgeli, 2-güneşli)	**< 0,001**
	Sosyal baskı (1-yok, 2-var)	**< 0,001**
	Kaçak kesim (1-yok, 2-var)	< 0,01
	Devrik (1-yok, 2-var)	< 0,05
	Dip kütükler (1-yok, 2-var)	< 0,01
	Dal artıkları (1-yok, 2-var)	**< 0,001**
NDVI	**Meşcere karışımı (1-saf, 2-karışık)**	**< 0,001**
	Gençlik (1-yok, 2-var)	< 0,05
	Tabakalılık (1-tek tabaka, 2-iki+ tabaka)	< 0,05
	Teknik müdahale (1-yok, 2-var)	< 0,01
	Gözlenen erozyon (1-yok, 2-var)	**< 0,001**
	Bakı (1-gölgeli, 2-güneşli)	**< 0,001**
	Sosyal baskı (1-yok, 2-var)	**< 0,001**
	Kaçak kesim (1-yok, 2-var)	< 0,01
	Devrik (1-yok, 2-var)	< 0,05
	Dip kütükler (1-yok, 2-var)	**< 0,001**
	Dal artıkları (1-yok, 2-var)	< 0,01

Olur PB'nde erozyonu önleme fonksiyonuna ilişkin göstergelere ait ortalamalarının en az üç alt gruplu kategorik değişkenlere göre gösterdiği farklılıklar $p<0,05$ önem düzeyinde incelenmiş (ANOVA) ve anlamlı değişim gösterenler Tablo 54'te gösterilmiştir. Buna göre C-faktörü ortalamalarında; AKAÖ sınıfı, meşcere tipi, gençlik durumu, gözlenen erozyon, bakı grupları, toprak türü, sosyal baskı, kaçak kesim ve dip kütük çap sınıfına göre anlamlı farklılıklar gözlenmiştir. Buna göre; normal kapalı ormanlardaki C-faktörü ortalaması, diğer tüm AKAÖ sınıflarından farklı ve düşük çıkmıştır. Meşcere tipi açısından yapraklı ve karışık ormanlar arasında fark görülememiştir. İbreli ormanların C-faktörü ise diğer iki gruptan düşük çıkmıştır. Gençlik durumu açısından; altta gençliğin hiç olmadığı meşcerelerin C-faktörü gençlik durumu iyi (kuvvetli, bol) olanlardan yüksek çıkmıştır. Bu bulgu, orman tabanında bulunan sık fidanların da C-faktörünü düşürerek toprak korumaya katkı sağladığını göstermesi yönünden önemlidir. Gözlenen erozyon açısından; erozyon izi bulunmayan normal sahalardaki C-faktörü ortalamasının oluk erozyonu gözlenen sahalardakinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bakı grupları açısından; kuzey bakılı sahaların C-faktör ortalaması güney, güneydoğu ve güneybatılı sahalardan daha düşük çıkmıştır. Kuzeydoğulu sahalarınki ise güneydoğu ve güney bakılı sahalardan daha düşük çıkmıştır. Doğu ve güneybatılı sahalar arasında da benzer farklılık mevcuttur. Diğer benzer farklılıklar bir arada değerlendirildiğinde gölgeli bakıların güneşli bakılardan daha düşük C-faktörüne sahip oldukları görülmüştür. Bu durum, gölgeli bakıların daha nemli olması, dolayısıyla bitki örtüsü gelişimine daha müsait olması ve daha gür vejetasyona sahip olmaları ile açıklanabilir (Barnes ve ark., 1998). Dolayısıyla, buralarda toprak korunması daha etkin gerçekleşiyor gibi gözükmektedir. Toprak türü açısından; en az bir grubun C-faktörü ortalaması diğerlerinden farklıdır. Ancak her türdeki topraktan yeteri kadar örnek olmadığı için post-hoc testi yapılamamış ve farklılığın hangi türdeki topraktan kaynaklandığı tespit edilememiştir. Sosyal baskı türlerinden en az bir grubun C-faktörü ortalaması diğerlerinden farklıdır. Ancak her baskı türüne sahip örnek alandan yeteri miktarda olmadığı için, post-hoc testi yapılamamış ve farklılığın hangi türden kaynaklandığı tespit edilememiştir. Kaçak kesim açısından; kaçakçılığın olmadığı sahalarla farklı şiddetlerde kesim olan sahalar arasında anlamlı farklar çıkmıştır. Ancak kesimin şiddeti tek başına C-faktörü ortalamasını değiştirmemiştir. Dip kütük çap sınıfı açısından; ince çap sınıfı ile diğer

çap sınıfları arasında fark bulunmuş, diğer çap sınıflarının ortalaması daha düşük çıkmıştır.

Potansiyel toprak kaybı miktarını AKAÖ sınıfı, meşcere tipi, gözlenen erozyon, bakı grupları ve kaya büyüklüğü anlamlı derecede değişmiştir (Tablo 54). Buna göre; normal kapalı ormanlardaki potansiyel toprak kaybı, boşluklu kapalı orman ve meralardan daha düşük bulunmuştur. Gözlenen erozyon açısından; oluk erozyonlu sahalarla heyelanlı ve moloz/çamur akmalı sahalar arasında anlamlı fark çıkmıştır. Oluk erozyonlu sahaların potansiyel toprak kaybı daha fazladır. Bakı grupları açısından; yalnızca düz alanlar ile doğu bakılı alanlar arasında anlamlı bir fark bulunmuştur. Düz alanlardaki potansiyel toprak kaybı doğal olarak daha azdır. Bunun nedeni buraların eğimsiz olmasıdır (Renard ve ark., 1997). Kaya büyüklüğü açısından; en az bir grubun potansiyel toprak kaybı ortalamalarında anlamlı farklılık yarattığı tespit edilmiş ancak her gruba ait yeterli örnek alan bulunmadığı için post-hoc testi yapılamamıştır.

Maksimum toprak kaybı miktarı; AKAÖ sınıfı ve meşcere tipine göre anlamlı derecede değişimler göstermiştir (Tablo 54). Buna göre; normal kapalı ormanlardaki maksimum toprak kaybı, boşluklu kapalı orman ve ziraat alanlarından daha düşük bulunmuştur. Meşcere tipi açısından, ibreli ormanlardaki maksimum toprak kaybı ortalamasının diğerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Önlenen toprak kaybı miktarı; AKAÖ sınıfı ve meşcere tipine göre farklılıklar göstermiştir (Tablo 54). Buna göre normal kapalılıktaki ormanların önlediği toprak kaybı ziraat ve boşluklu kapalı ormanlarınkinden anlamlı derecede daha fazladır. Meşcere tipi açısından, ibreli ormanlardaki önlenen toprak kaybı ortalamasının diğerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgu maksimum ve önlenen toprak kaybı arasındaki çok yüksek korelasyondan kaynaklanmaktadır. Bir alandaki maksimum toprak kaybı ne kadar yüksek olursa, oradaki önlenen toprak kaybı potansiyeli de genellikle yüksek olmaktadır.

TKPİ; AKAÖ sınıfı, meşcere tipi, gençlik durumu, gözlenen erozyon, bakı grupları, toprak türü, sosyal baskı ve kaçak kesime göre anlamlı farklılıklar göstermiştir (Tablo

54). Buna göre; normal kapalı ormanların TKPİ diğer tüm AKAÖ sınıflarından daha yüksektir. Bu beklenen bir sonuç olmuştur. Meşcere tipi açısından; ibreli ormanların TKPİ diğerlerinden daha iyi çıkmıştır. Gençlik durumu açısından; herhangi bir gençlik katmanına sahip olmayan meşcerelerin gençlik durumu, iyi olanlara nazaran daha düşük performans gösterdikleri anlaşılmıştır. Bu bulgu, aynı kategorik değişkenin C-faktörü üzerine yaptığı etkiyle paraleldir. Gözlenen erozyon açısından; tıpkı C-faktöründe olduğu gibi bir farklılık çıkmıştır. Erozyon izine rastlanmayan sahaların performansı oluk erozyonlu sahalardan daha yüksek bulunmuştur. Bakı grupları açısından; tıpkı C-faktöründe olduğu gibi kuzey bakının performansı güneyli bakıların neredeyse hepsinden anlamlı şekilde yüksektir. Bu fark kuzeyli bakılardaki kapalılık derecesinin daha yüksek olmasından kaynaklanıyor olmalıdır (OGM, 2015b). Toprak türü ve sosyal baskı açısından; TKPİ ortalamaları arasında anlamlı farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Kaçak kesim açısından; kaçak kesimin hiç olmadığı sahalar ile az ve orta derecede kesim olan sahalar arasında fark bulunmuştur.

NDVI ortalamalarının; AKAÖ sınıfı, meşcere tipi, gençlik durumu, toprak nemi, gözlenen erozyon, bakı grupları, toprak türü, sosyal baskı, kaçak kesim ve dip kütük çap sınıfına göre anlamlı derecede değiştiği görülmüştür (Tablo 54). Buna göre; mera alanları ve boşluklu kapalı ormanlar hariç diğer tüm AKAÖ sınıfları arasında anlamlı farklılıklar vardır. Normal kapalı ormanların NDVI ortalaması diğer tüm sınıflardan önemli derecede yüksek çıkmıştır. Bu beklenen bir durumdur ve C-faktörüne de benzer şekilde yansımıştır (Vatandaşlar ve Yavuz, 2017). Meşcere tipi açısından; ibreli ormanların NDVI ortalaması diğerlerinden daha yüksektir. Bu sonuç ibreli ormanlardaki toplam iğne yaprak yüzeyinin geniş yapraklılardakinden daha fazla olmasıyla açıklanabilir (Asan, 2017). Gençlik durumu açısından; hiç gençliğin bulunmadığı meşcerelerin NDVI ortalaması, gençliğin zayıf olduğu meşcerelere nazaran daha düşük bulunmuştur. Toprak nemi açısından; NDVI ortalamalarının alt gruplara göre anlamlı farklılıklar gösterdiği bulunmuş, ancak hangi alt grubun fark yarattığı bulunamamıştır. Farkın hangi gruptan kaynaklandığının bulunamamış olması yarıkurak olan Olur PB'nde (Duman, 2017) cıvık topraklı örneklerden yeterince toplanılamamasından kaynaklanmıştır. Dolayısıyla post-hoc testi yapılamamıştır. Gözlenen erozyon açısından; tıpkı C-faktöründe olduğu gibi bir farklılık çıkmıştır. Erozyon izine rastlanmayan sahaların NDVI ortalaması oluk erozyonlu sahalardan

daha yüksek bulunmuştur. Bakı grupları açısından ortaya çıkan tablo C-faktöründekiyle oldukça benzerdir. Kuzey bakılardaki yüksek NDVI güney bakılara göre farklı ortalamalar ortaya çıkarmıştır. Toprak türü açısından; NDVI ortalamalarında anlamlı farklılıklar oluşmuştur. Sosyal baskı açısından da; NDVI ortalamaları arasında anlamlı farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Kaçak kesim açısından; kaçak kesimin hiç olmadığı sahalar ile az ve orta derecede kesim olan sahalar arasında fark bulunmuştur. İlginç şekilde kaçakçılık yaşanmayan sahalardaki NDVI ortalamasının daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durum, kaçakçılığın genellikle gür ve tam (3) kapalılıktaki ormanlarda gerçekleştiğini göstermektedir. Dip kütük çap sınıfı açısından; ince çap sınıfı ile diğer çap sınıfları arasında fark bulunmuş, diğer çap sınıflarının ortalaması daha yüksek çıkmıştır.

Genel olarak değerlendirildiğinde; Olur PB'nde NDVI'ın kategorik değişkenlerden en çok etkilenen gösterge olduğu, AKAÖ sınıfı ve meşcere tipinin tüm göstergeleri farklılaştırdığı, maksimum toprak kaybı ile önlenen toprak kaybını etkileyen değişkenlerin aynı olduğu, Veliköy PB'nden farklı olarak tabakalılık değişkeninin Olur'da tabakalı orman bulunmadığı için tabloda yer almadığı, gözlenen erozyon ve bakı gruplarının birçok göstergeyi etkileyebildiği ve Veliköy ile Olur ANOVA test sonuçlarından çıkan değişkenlerin çoğu zaman benzeştiği sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 54. Olur PB'nde aralarında anlamlı ilişki bulunan değişkenler (ANOVA)

Göstergeler	Kategorik değişkenler (en az 3 alt gruplu)	ANOVA önem d.	Levene önem d.	Post-hoc testi
C-faktörü	AKAÖ (1-boş.kap.orm, 2-ver.orman, 3-Z, 4-Me)	< 0,001	< 0,001	Tamhane
	Meşcere tipi (1-yapraklı, 2-ibreli, 3-karışık)	< 0,001	< 0,01	Tamhane
	Gençlik durumu (0-yok, 1-zayıf, 2-orta, 3-iyi)	< 0,01	< 0,001	Tamhane
	Göz. er. (0yok,1yüzey,2oluk,3oyu.,4hey.,5akma)	< 0,001	< 0,01	Tamhane
	Bakı (1düz,2K,3KD,4D,5GD,6G,7GB,8B,9KB)	< 0,001	< 0,01	Tamhane
	Top.türü(1KuKiB,2KiB,3KuB,4B,5BKu,6KuKi)	< 0,001	< 0,05	–
	Sos.baskı(1yok2kaçak3yerl.4otla.5rekr.6yol7çok)	< 0,01	< 0,001	–
	Kaçak kesim (0-yok, 1-az, 2-orta, 3-çok)	< 0,05	< 0,001	Tamhane
	Dip kütük çap sınıfı (1-I, 2-II, 3-III, 4-IV)	< 0,01	< 0,001	Tamhane
Potansiyel toprak kaybı ($t\ ha^{-1}\ yıl^{-1}$)	AKAÖ (1-boş.kap.orm, 2-ver.orman, 3-Z, 4-Me)	< 0,001	< 0,001	Tamhane
	Meşcere tipi (1-yapraklı, 2-ibreli, 3-karışık)	< 0,01	< 0,01	Tamhane
	Göz. er. (0yok,1yüzey,2oluk,3oyu.,4hey.,5akma)	< 0,001	< 0,001	Tamhane
	Bakı (1düz,2K,3KD,4D,5GD,6G,7GB,8B,9KB)	< 0,001	< 0,001	Tamhane
	Kaya büyüklüğü (1-küçük, 2-orta, 3-büyük)	< 0,01	> 0,05	–
Maksimum toprak kaybı	AKAÖ (1-boş.kap.orm, 2-ver.orman, 3-Z, 4-Me)	< 0,001	< 0,001	Tamhane
	Meşcere tipi (1-yapraklı, 2-ibreli, 3-karışık)	< 0,01	< 0,01	Tamhane
Önlenen toprak kaybı	AKAÖ (1-boş.kap.orm, 2-ver.orman, 3-Z, 4-Me)	< 0,001	< 0,001	Tamhane
	Meşcere tipi (1-yapraklı, 2-ibreli, 3-karışık)	< 0,01	< 0,001	Tamhane
TKPİ (%)	AKAÖ (1-boş.kap.orm, 2-ver.orman, 3-Z, 4-Me)	< 0,001	< 0,001	Tamhane
	Meşcere tipi (1-yapraklı, 2-ibreli, 3-karışık)	< 0,001	< 0,01	Tamhane
	Gençlik durumu (0-yok, 1-zayıf, 2-orta, 3-iyi)	< 0,01	< 0,001	Tamhane
	Göz. er. (0yok,1yüzey,2oluk,3oyu.,4hey.,5akma)	< 0,001	< 0,001	Tamhane
	Bakı (1düz,2K,3KD,4D,5GD,6G,7GB,8B,9KB)	< 0,001	< 0,01	Tamhane
	Top.türü(1KuKiB,2KiB,3KuB,4B,5BKu,6KuKi)	< 0,001	< 0,05	–
	Sos.baskı(1yok2kaçak3yerl.4otla.5rekr.6yol7çok)	< 0,05	< 0,001	–
	Kaçak kesim (0-yok, 1-az, 2-orta, 3-çok)	< 0,05	< 0,001	Tamhane
NDVI	AKAÖ (1-boş.kap.orm, 2-ver.orman, 3-Z, 4-Me)	< 0,001	< 0,01	Tamhane
	Meşcere tipi (1-yapraklı, 2-ibreli, 3-karışık)	< 0,001	> 0,05	Tukey
	Gençlik durumu (0-yok, 1-zayıf, 2-orta, 3-iyi)	< 0,05	< 0,001	Tamhane
	Top.nemi (1-p.kuru,2-kuru,3-serin,4-nemli,5-yaş)	< 0,05	< 0,05	Tamhane
	Göz. er. (0yok,1yüzey,2oluk,3oyu.,4hey.,5akma)	< 0,001	< 0,001	Tamhane
	Bakı (1düz,2K,3KD,4D,5GD,6G,7GB,8B,9KB)	< 0,001	< 0,001	Tamhane
	Top.türü(1KuKiB,2KiB,3KuB,4B,5BKu,6KuKi)	< 0,001	< 0,001	–
	Sos.baskı(1yok2kaçak3yerl.4otla.5rekr.6yol7çok)	< 0,01	< 0,001	–
	Kaçak kesim (0-yok, 1-az, 2-orta, 3-çok)	< 0,05	< 0,001	Tamhane
	Dip kütük çap sınıfı (1-I, 2-II, 3-III, 4-IV)	< 0,001	> 0,05	Tukey

3.4.3. Öne Çıkan İlişkiler ve Pratik Kullanım İçin Üretilen Modeller

Veliköy ve Olur PB'lerinde arazide ölçülen değişkenlerin istatistiki olarak değerlendirilmesi sonucunda bir takım gösterge ve bu göstergelere etki eden faktörlerin her iki çalışma alanında da ortak olduğu, yakalanan ilişkilerin çok kuvvetli olduğu ya da bazı ilişkilerin bu çalışma bulgularının orman amenajman planlama sürecine entegre edilmesinde kullanışlı olabileceği görülmüştür. Söz konusu ilişkiler ve bu ilişkilerden türetilen modeller aşağıda sunulmuştur.

TKPİ, meşcere tiplerinin erozyonu önleme fonksiyonu kapasitelerini gösterdiği için çalışma çıktılarının orman amenajman planlarına entegrasyonunda önemli bir yer tutmaktadır. Bu performans göstergesinin yalnızca NDVI bağımsız değişkeniyle bile tahmin edilebileceği görülmüştür (Eşitlik 48). Aslında bağımsız değişken olarak C-faktörünün kullanımıyla yapılacak modellemeler NDVI'dan daha başarılı olacaktır. Ancak C-faktörünün ölçüm ve hesaplanışının pratik olmaması plan yapıcıları kısıtlamaktadır. Bu nedenle, TKPİ ve NDVI arasındaki ilişki en basit denklem yapısındaki doğrusal regresyon modeliyle modellenmiştir (Kalaycı, 2009). Model yapısı Eşitlik 48'de görülebilir. Böylelikle ormanı planlayanlar, plan yenileme çalışmaları öncesinde OGM'den temin ettikleri renkli kızılötesi uydu görüntüsü veya hava fotoğraflarıyla NDVI yüzeyi üreterek, Eşitlik 48 ile meşcerelerin TKPİ'lerini hızlıca hesaplayabilirler. OİŞ sınırları dahilinde piksel ölçeğinde yapılacak bu modellemenin tahmin başarısı $R^2_{düz}$=0,90'dır. Eşitlik 48, model ve model katsayıları bakımından da anlamlı olup ($p<0,05$), kendine geniş kullanım alanı bulabilmesi için Veliköy ve Olur PB'nden toplanan tüm verilerin harmanlanmasıyla oluşturulmuştur.

$$TKP\text{İ}\ modeli = (0{,}802 + 0{,}260 \times NDVI) \times 100 \quad (48)$$

Eşitlik 48'de;

TKPİ modeli: Toprak koruma performans indisini hızlı şekilde tahmin etmeye yarayan regresyon modeli (%),

NDVI ise: Normalize edilmiş fark vejetasyon indisidir (birimsiz).

Bilindiği gibi, RUSLE erozyon tahmin modelinin ana çıktısı yıllık potansiyel toprak kaybı miktarı (A) ve bunun haritasıdır (Renard ve ark., 1997). Orman amenajman planlarında erozyonu önleme fonksiyonuna tahsis edilecek alanların ayrılması aşamasında, belirlenecek uygun bir eşik toprak kaybı miktarı ile bu haritanın kullanımının daha isabetli olacağına karar verilmiştir. Ancak plan yapıcıların zaman darlığı ve uzmanlık alanlarının farklı oluşu uyarınca bu haritayı üretebilmeleri kısa vadede pek mümkün görünmemektedir. Dolayısıyla, Ek-13 ve Ek-14'te potansiyel toprak kaybıyla anlamlı korelasyon gösteren sürekli değişkenlerden faydalanılabilir. Bu anlamda Veliköy ve Olur PB'lerindeki potansiyel toprak kayıplarını tahmin etmek için aşamalı (stepwise) yöntemle geliştirilen çoklu doğrusal regresyon modelleri sırasıyla Eşitlik 49−50'deki gibidir. Eşitlik 49−50, model ve model katsayıları bakımından da anlamlı olup ($p<0,05$), düzeltilmiş belirtme katsayıları sırasıyla $R^2_{düz}=0,74$ ve $R^2_{düz}=0,57$'dir.

$$Veliköy\ PTK = 1762,159 + 275,355.NDVI^3 + 0,001.R + 0,035.E - \frac{290,357}{NDVI} - 1725,718.\sqrt{NDVI} \quad (49)$$

$$Olur\ PTK = -2,293 + \frac{1,781}{NDVI} + 0,000091.E^2 \quad (50)$$

Eşitlik 49−50'de;

PTK: yıllık ortalama potansiyel toprak kaybı (RUSLE A) (t ha^{-1} $yıl^{-1}$),

NDVI: Normalize edilmiş fark vejetasyon indisi (birimsiz),

R: Rakım (m),

E: Arazinin eğimini (%) ifade etmektedir.

Şaşırtıcı bir şekilde, meşcere kapalılığı ve göğüs yüzeyi değişkenleri yukarıdaki modellerde doğrudan yer almamışlardır. Bunun nedeni; bu çalışmada söz konusu değişkenler ile potansiyel toprak kaybı arasında çok kuvvetli bir ilişkinin bulunamamasıdır. Her ne kadar istatistik olarak anlamlı bir korelasyondan söz etmek

mümkünse de ($p<0,05$), korelasyon katsayıları her iki PB için de $r=-0,24$ ve $-0,32$ arasında kalmıştır (Ek-13, Ek-14). Öte yandan, aynı değişkenlerin kendi etkilerini dolaylı olarak NDVI üzerinden gösterdikleri söylenebilir. Daha önce değinildiği gibi NDVI; arazi üzerinde bulunan canlı bitki örtüsünün yayılışı yanı sıra vejetasyonun yoğunluğu ve vitalitesini de yansıtmaktadır (Tucker, 1979; Vatandaşlar ve Yavuz, 2017). Bu anlamda, kapalılık derecesi yüksek olan meşcerelerin NDVI değerleri de yüksek olmaktadır. Dolayısıyla geçmişte büyük kısmı gözlem ve deneyime dayalı olarak, özellikle göğüs yüzeyi ile erozyon arasında çok kuvvetli bir negatif ilişki olduğunu savunan araştırmacıların görüşleri bu çalışma ile doğrulanmış olmaktadır (Kalıpsız, 1982; Asan ve Şengönül, 1988; Yolasığmaz, 2004). Bu çalışmada kapalılık ve göğüs yüzeyi ile toprak erozyonu arasında beklendiği kadar yüksek çıkmayan korelasyon katsayıları ise; orman altında bulunan ağaççık, çalı ve ot katı gibi toprak korumada önemli roller üslenen fakat amenajman pratiğinde kapalılık ve göğüs yüzeyi hesabına katılmayan unsurlarla açıklanabilir. NDVI değişkeni, bu unsurları da dikkate aldığı için potansiyel toprak kaybı miktarı ile çok daha kuvvetli bir korelasyon göstermiştir. Bu yüzden Eşitlik 48−50'deki modellerde NDVI yer alırken, diğer değişkenler doğrudan yer almamıştır.

Diğer taraftan, yukarıda sunulan modeller başka havzalarda denenmemiştir. Dolayısıyla, bu modellerin kullanımı yalnızca Veliköy ve Olur PB'leri ya da bunlara oldukça benzer özellik gösteren diğer havzalar için uygundur. Havzaların birbirine benzerlik kriteri olarak; AKAÖ sınıflarının alansal kompozisyonu (%30 orman, %50 mera, %10 ziraat gibi), Erinç'in kuraklık indisine göre belirlenen iklim kuşakları (yarı kurak, yarı nemli, nemli gibi) ya da ortalama eğim değeri kullanılabilir. Buna ilaveten, Veliköy ve Olur PB'lerinin her 10 ya da 20 yılda bir gerçekleşen amenajman planı yenileme çalışmalarında, Eşitlik 49−50'de sunulan modellerden direkt olarak yararlanılabilir.

Meşcere yapısıyla toprak özellikleri arasındaki ilişkiler, erozyonu önleme fonksiyonuyla olan ilişkiler kadar güçlü değildir. Yine de diri örtü ve eğimdeki artışın K-faktörünü arttırarak toprağı erozyona karşı daha duyarlı hale getirdiği görülmüştür. Toprak OM'nin ise kapalılık ve rakımdaki artışla beraber arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, ibreli meşcere topraklarının OM'ce yapraklılardan daha zengin olduğu bulunmuştur.

OM'deki artışın toprak aşınımını zorlaştırdığı düşünüldüğünde orman amenajmanı açısından meşcere sıklığını arttırıcı ve ibreli türlere dönüştürücü yönde yapılacak müdahalelerin erozyonu önlemede etkili olacağı söylenebilir. Ayrıca sahada gözlenen erozyon izi varsa OM'nin buralarda daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Fakat orman amenajmanı perspektifinden bakıldığında toprak özellikleriyle kurulan ilişkilerin, fonksiyonun orman amenajman planlarına yansıtılması noktasında pek faydalı olmadığı anlaşılmıştır.

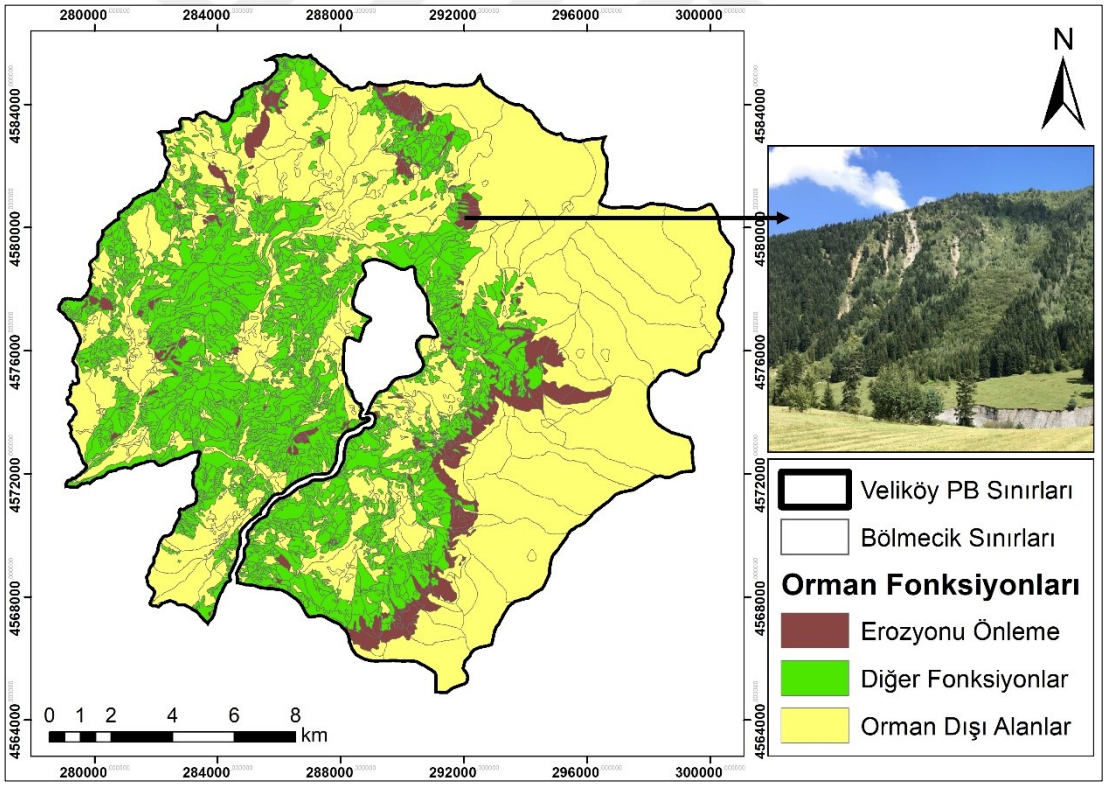
Son olarak, AKAÖ sınıfındaki değişimin toprak ve erozyonla ilgili neredeyse tüm göstergeleri farklılaştırdığı görülmüştür. Özellikle boşluklu kapalı orman ve mera sınıflarında kumlu toprakların daha yaygın olduğu tespit edilmiştir. Kumlu toprakların erozyona karşı daha hassas oldukları düşünülürse (Kantarcı, 2000; Şengönül ve Şahin, 2017), toprak koruma faaliyetlerinin öncelikle buralarda yoğunlaşması gerektiği söylenebilir. Zaten mevcut amenajman yönetmeliğinin 10. sayfasında da kumlu toprakların şiddetli erozyona maruz kalacağı belirtilmekte, ancak toprak tekstürünün nasıl tespit edileceğine değinilmemektedir (OGM, 2017). Literatürde AKAÖ sınıfındaki değişimin toprak ve erozyonla ilgili göstergeleri farklılaştırdığını ifade eden birçok çalışmaya rastlamak mümkündür. Örneğin; Yilmaz ve ark. (2007) Ordu'da yaptıkları çalışmada erozyon oranı ve topraktaki kum/kil/toz/OM içeriklerinin farklı arazi kullanımlarına göre önemli şekilde değiştiğini tespit etmişlerdir ($p<0,05$). Yilmaz ve ark. (2015) da Trabzon'da gerçekleştirdikleri çalışmada toprak erodibilite indisinin arazi kullanımlarına göre istatistik olarak anlamlı bir şekilde ($p<0,05$) değiştiğini bildirmişlerdir. Dolayısıyla önceden öngörülebilen bu bulgu şaşırtıcı değildir.

3.5. Planlamaya Entegrasyon

3.5.1. Erozyonu Önleme Fonksiyonu Görecek Sahalar

Veliköy Planlama Birimi'nde erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılması gereken alanları gösteren harita Şekil 60'taki gibidir. Veliköy'deki ormanlık alanları oluşturan (OT, boşluklu kapalı orman vb. dahil) toplam 2494 bölmeciğin 219'u erozyona önleme fonksiyonuna ayrılmış ve rumuzlarının sonuna "-E" sembolü eklenmiştir. Ayrılan bölmeciklerin toplam alanı 1492,4 ha'dır. "Yöntem" bölümünde ayrıntılı olarak

anlatıldığı gibi söz konusu fonksiyona ayrılan alanlardaki yıllık ort. potansiyel toprak kaybı miktarları, tolere edilebilir eşik değer olarak belirlenen 5 t ha^{-1}'dan daha fazladır. Ayrılan bölmeciklerin çoğunluğunu boşluklu kapalı, ağaçsız orman toprağı (OT) ya da sonu -E, -T ile biten meşcere tipleri oluştursa da, Gcd2, LGc3, LMab3 gibi orta (2) ya da tam (3) kapalılıktaki meşcerelere de rastlanmaktadır. Bu bulgu, Veliköy'ün çetin topografya ve şiddetli yağış karakteristikleri yüzünden 2 ve 3 kapalı meşcerelerin toprak koruma performanslarının bile yer yer yetersiz kalabildiğini göstermesi açısından önemlidir. Veliköy PB'ndeki orman kaynaklarının oldukça küçük bir bölümünü oluşturan yapraklı meşcerelerin çoğunluğu da erozyonu önleme fonksiyonu görmesi için ayrılan sahalar içerisinde kalmıştır. Ayrılan bölmeciklerden normal kapalılıkta (verimli) olanlarının dökümü Tablo 55'te verilmiştir.



Şekil 60. Bu çalışma kapsamında Veliköy PB'nde erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılan orman alanları

Tablo 55. Veliköy PB'nde erozyonu önleme fonksiyonu görecek verimli meşcereler

Bölme No.	Meşcere tipi	Plandaki işl.sınıfı*	Alan (ha)	Plandaki per.eta** (m^3)	Bölme No.	Meşcere tipi	Plandaki işl.sınıfı*	Alan (ha)	Plandaki per.eta** (m^3)
11	Çsbc2-1	BÇK	3,9	0	197	Gcd2-2	DK	6,3	0
11	Çsbc2-2	BÇK	1,0	0	197	GLcd2-1	DK	3,6	0
12	Çsbc2	BÇK	5,7	0	197	GLcd2-2	DK	6,2	0
13	Çsbc2	BÇK	14,2	0	198	GLcd2	DK	4,0	0
14	Gcd2-1	DK	0,7	0	199	Gcd1	DK	4,1	0
14	Çscd1	BÇK	14,4	0	207	Ma3	TK	0,5	0
15	Gcd2-4	DK	0,6	0	223	Gcd2-1	DK	1,6	0
15	Çscd1-1	BÇK	2,9	0	223	Gcd2-2	DK	1,3	0
15	Çscd1-2	BÇK	1,7	0	223	Gcd2-3	DK	0,6	0
15	Çscd1-3	BÇK	8,4	0	237	Lc3	Ü	0,5	24
16	Çscd1-1	BÇK	5,9	0	239	Gcd2	DK	7,1	0
16	Çscd2-1	BÇK	4,9	0	240	Gcd2-2	DK	2,5	0
16	Çscd2-2	BÇK	2,6	0	240	Gde2	DK	1,5	0
16	GLcd3-2	R	0,8	0					
27	Lbc2	TK	1,0	0					
30	Gcd2-3	DK	2,4	0					
32	HUvAka3-1	DK	12,5	0					
32	HUvAka3-2	DK	17,7	0					
39	Lcd1	Ü	0,5	93					
40	LGc3-2	TK	1,1	44					
40	Çsc3-2	Ü	0,4	20					
43	Lbc3-3	Ü	1,1	80					
57	Gde2	TK	2,8	0					
91	Gcd2	DK	2,7	0					
123	Mab3	BÇK	0,7	0					
127	Gcd2-1	BÇK	1,1	0					
127	Lbc2-1	BÇK	0,7	0					
132	Gcd2-2	DK	0,7	0					
142	Çsbc2-1	TK	5,0	0					
148	Çscd1	TK	2,9	0					
160	Lbc1-1	DK	1,8	0					
161	GLcd3	DK	0,9	0					
167	LMab3-2	DK	0,9	0					
171	ÇsLbc3	Ü	0,7	26					
187	LÇsc2	DK	9,8	0					
196	Gcd2	DK	3,8	0					
197	Gcd1	DK	10,5	0					
197	Gcd2-1	DK	2,2	0					
	→		→			**TOPLAM**		**191,4**	**287**

* İşl. sınıfı kısaltmaları; BÇK: biyolojik çeşitliliği koruma, DK: doğayı koruma, R: rekreasyon, Ü: üretim, TK: toprak koruma.
** Plandaki periyodik eta; ilgili meşcerenin tüm alanından plan süresi olan 20 yıl boyunca alınabilecek toplam odun hasılatıdır.

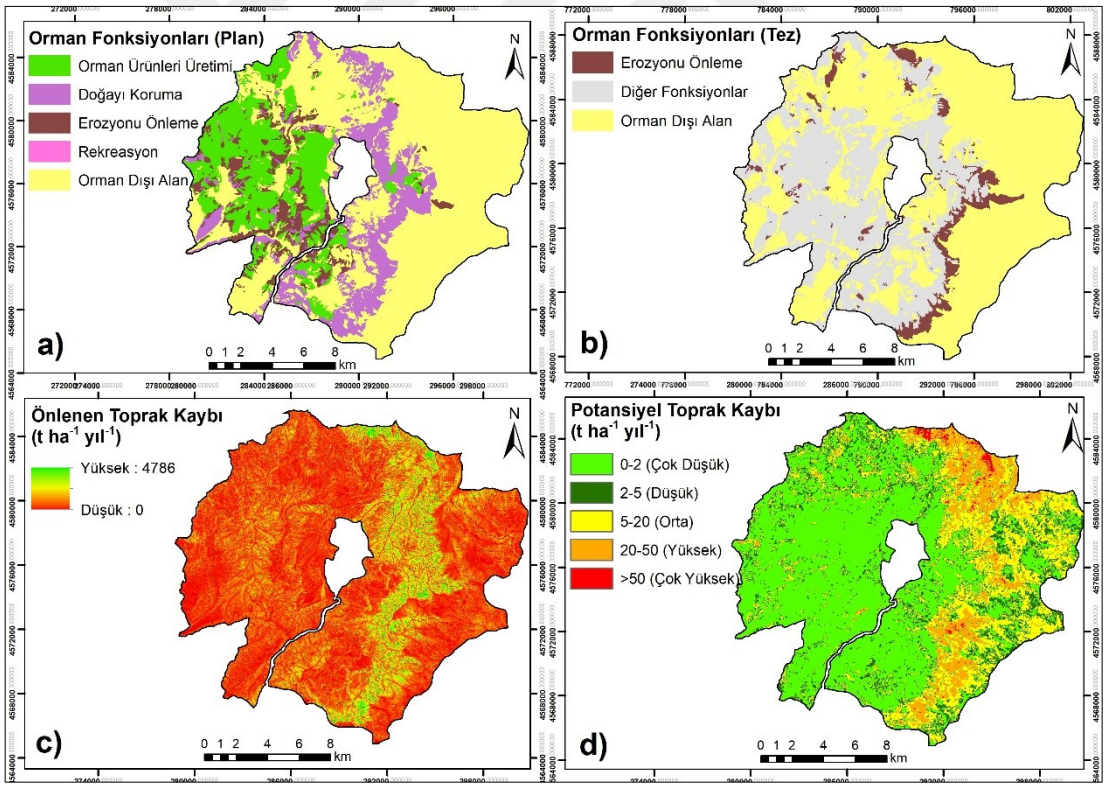
Veliköy'ün hali hazırdaki orman amenajman planında ise, ormanlık alanlardan oluşan 476 bölmecik erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılmıştır (OGM, 2013). Bu bölmeciklerin toplam alanı 2082 ha'dır. Söz konusu bölmeciklerde 10 yıllık dönüş süresi için kararlaştırılan fonksiyonel eta ise toplamda 14280 m^3'tür. Bu miktar iki ile çarpılarak 28560 m^3'lük periyodik etaya (20 yıllık) ulaşılır. Etanın tamamı ara hasılat kesimlerinden gelmektedir. Planda I-Toprak Koruma İşletme Sınıfı'na gençleştirme alanı verilmemiştir (OGM, 2013). Dolayısıyla bu tez çalışmasında ilgili fonksiyona ayrılan alanlar ile amenajman planındakiler arasında benzerliklerin yanı sıra önemli farklılıklar da vardır. Farklılıkların konumsal olarak karşılaştırılması için Şekil 61a-b incelenebilir. Şekil 61a-b'deki haritaların CBS ortamında üst üste çakıştırılması (*Intersect*) sonucunda, kesişim kümesinin yalnızca %13'lük alanı kapsadığı hesaplanmıştır. Bir başka ifadeyle; bu çalışmada kullanılan yaklaşım tarzının uygulanması ile planda daha önce erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılan alanların yaklaşık %87'si değişmiştir. Plan verisinde doğayı koruma fonksiyonuna ayrılan mor alanların önemli bir kısmı bu çalışmada erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılmıştır (Şekil 61b). Esasında, söz konusu iki fonksiyon için ilgili amenajman tebliğinde verilen ayırma ölçütleri birbirine oldukça benzemektedir. OGM (2017)'ye göre doğayı koruma fonksiyonuna ayrılacak alanlarda dikkate alınacak temel ölçüt sahadaki eğimin %80 ve üstü olması iken; erozyonu önleme fonksiyonunda bu değer %60−%79 arasıdır. Birbirinden hem kavramsal hem de içerik (koruma hedefleri) olarak oldukça farklı olan bu iki fonksiyona ait ölçüt ve göstergelerin birbirine bu kadar yakın oluşu çelişkili bir durum yaratmaktadır. İçerisinde sosyal baskılı alanlar, su kenarı koruma alanları, ziyaret alanları gibi koruma hedefleri barındıran doğayı koruma fonksiyonu görecek ormanların neden %80 ve üstündeki çok dik yamaçlarda konumlanmış olması gerektiği anlaşılamamaktadır. Herhalde bu ormanlara hiç bir silvikültürel müdahale yapılmadığı, diğer ifadeyle kendi hallerine bırakıldıkları için kendiliğinden toprak koruma işlevi de görecekleri düşünülüyor olmalıdır. Halbuki, OGM (2017)'deki "Orman fonksiyonları, işletme amaçları ve koruma hedefleri tablosu"nda erozyonu önleme fonksiyonu zaten bulunmaktadır (bkz. Tablo 6). İşte bu fonksiyonu görmesi gereken ormanların farklı bir fonksiyon altında toplanması Şekil 61a-b'deki gibi geçişlere ya da belirsizliklere neden olabilmektedir. Bu yüzden statülü alanlar (milli park, tabiatı koruma alanı vd.) ya da spesifik özelliği bulunan diğer alanlar (doğal yaşlı ormanlar, festival alanları, tohum meşcereleri vd.) dışındaki ormanlar sırf %80 üstü

eğime sahip diye doğayı koruma fonksiyonuna ayrılmamalıdırlar. Veliköy PB'nde özellikle kuzeybatı ve batı kesimlerde üretim ormanı olarak planlanmış bazı meşcereler de bu tez çalışmasında erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılmıştır (Şekil 60−61b). Bunun nedeni; ilgili alanlarda orta ve şiddetli derecede toprak kaybı olmasıdır. Bu meşcerelere odun emvali elde etmek için yapılacak her müdahale toprağın korunmasını azaltarak toprak kaybının çok daha şiddetli derecelere ulaşmasına neden olabilir.

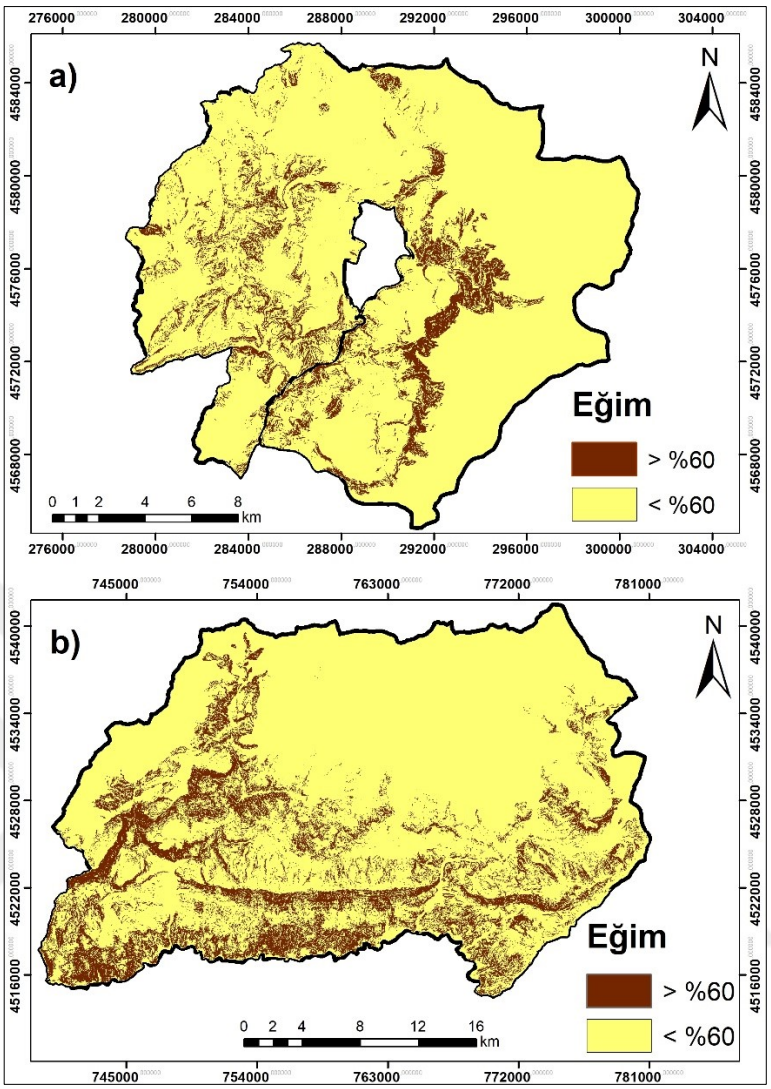
Şekil 61b-c'de dikkat çeken diğer bir nokta; bu çalışmada erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılan alanların büyük bölümünün önlenen toprak kaybının en yüksek olduğu kuşak üzerinde yer almasıdır. Buralarda önlenen toprak kaybı miktarı yılda 500 t ha^{-1} civarındadır. Bununla beraber, Şekil 61b ve Şekil 61c'deki haritalar arasında birebir örtüşme yoktur. Bunun nedeni; Burkhard ve ark. (2014)'te de belirtildiği gibi ekosistem hizmetinin potansiyel olarak sağlandığı ve aktüelde akışa geçtiği alanların konumsal ve sayısal olarak birbirinden ayrıştığı gerçeğidir. Diğer bir ifadeyle, önlenen toprak kaybı kapasitesinin en yüksek olduğu bazı yerlerde erozyonun önlenmesine ihtiyaç olmayabilir. Dolayısıyla Şekil 60'ta erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılmış alanlar için, ormanlar tarafından 100'lerce tonluk toprak erozyonunun azaltılmasına rağmen yine de tolere edilebilir limitlerin (ort. 5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$) üzerinde toprak kayıplarının yaşandığı yerler denilebilir (Wischmeier ve Smith, 1978; Foster ve Constantini, 1991; Morgan, 2005; Mandal ve ark., 2006). Bu nedenle, bu alanlarda daha fazla toprak kaybının önlenmesine ihtiyaç vardır. Bunun için Türkiye'deki ETFOP sisteminde (OGM, 2017) yapıldığı gibi, verilecek etaların sınırlandırılması yönünde değil, mevcut orman varlığını daha da yaygınlaştırıcı ve güçlendirici yönde önlemler alınmalıdır. Bu anlamda, söz konusu alanların orman amenajman planında üretim amaçlı fonksiyonlar yerine doğayı koruma fonksiyonuna verilmiş olması yine de sevindiricidir. Çünkü doğayı koruma fonksiyonuna ayrılan ormanlarda herhangi bir üretim faaliyeti yapılmamaktadır (OGM, 2017).

Son olarak, ülkemizdeki mevcut ölçüt ve göstergeler uyarınca orman amenajman planında erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılmış olan ormanların, genellikle erozyon riskinin olmadığı ya da çok düşük olduğu kesimlerde konumlandıkları görülmektedir (Şekil 61d). Buna ilaveten, söz konusu ormanların TKPİ'lerinin de pek yüksek

olmadığı anlaşılmaktadır. Nitekim, bu ormanların önleyebildiği toprak kaybı miktarları oldukça düşük olup ilgili haritada kırmızı renkle temsil edilmektedirler. Dolayısıyla, arazi eğiminin %60 ile %80 arasında olduğu alanlarda her zaman şiddetli erozyonun yaşanmadığı açığa çıkarılmıştır. Bu bulgu, tez hazırlanmadan önce tarafımızca öne sürülen hipotezi doğrular nitelikte olduğu için önemlidir. Şekil 62'de %60'ın üzerinde eğime sahip orman alanları haritalanmıştır. Bu haritayla potansiyel toprak kaybı haritasının uyumsuzluğu mevcut orman amenajman yönetmeliğindeki (OGM, 2017) temel ayrım ölçütünün yetersizliğini gözler önüne sermektedir. Şekil 62a'da Veliköy PB'nin batı yarısında kalan %60 ve üstü eğime sahip alanların neredeyse hiçbirinde potansiyel toprak kaybı 5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'ın üstünde değildir (Şekil 61d). Çünkü buralar genellikle yoğun ormanlarla kaplıdır. Bu alanlar, mevcut bitki örtüsü kaldırılmadan, meşcerelerin yapı ve kuruluşunun sürekliliği sağlandığı müddetçe, başka fonksiyonlar altında değerlendirilebilir.



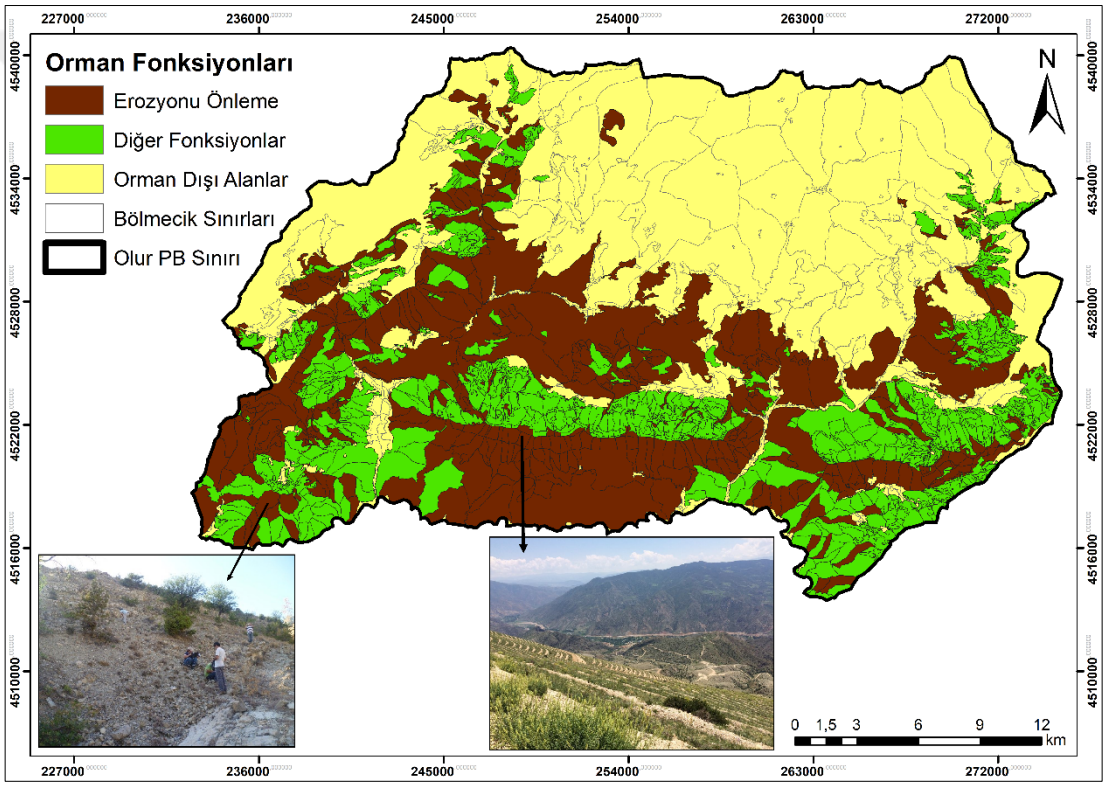
Şekil 61. Veliköy için üretilen haritaların karşılaştırılması: OAP fonksiyonları (a), bu çalışmada erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılan alanlar (b), önlenen erozyon (c) ve potansiyel erozyon (d) haritaları



Şekil 62. Veliköy (a) ve Olur (b) PB'lerinde %60 üstü eğime sahip ormanlık alanlar

Olur Planlama Birimi'nde erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılması gereken alanları gösteren harita Şekil 63'teki gibidir. Olur'daki ormanlık alanları oluşturan toplam 1529 bölmeciğin 466'sı erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılmış ve meşcere rumuzlarının sonuna "-E" sembolü eklenmiştir. Ayrılan bölmeciklerin toplam alanı 26621 ha'dır. Bu miktar ilk etapta oldukça fazla gibi görünebilir. Ancak, Olur'un amenajman planında doğa koruma+erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılmış alanlar toplamı 64377 ha'dır (OGM, 2015b). Ayrıca 26621 ha'lık sahanın 10090 ha'ı ağaçsız orman alanlarından (OT vd.) oluşmaktadır. Üzerinde ağaç serveti bulunan alanların ise neredeyse tamamı BDy başta olmak üzere diğer boşluklu kapalı meşcereler ya da Akdağ sırtlarındaki ağaçlandırma sahalarıdır. Sarıçam ve Yalancı Akasya türleriyle yapılan ağaçlandırma çalışmaları başarılı bir şekilde gerçekleştirildikten bir süre sonra, buradaki fidanların b (8−19,9 cm) gelişme çağına ulaşması ile bu alanların sonraki

periyotlarda orman ürünleri üretim fonksiyonuna tahsis edilmesi öngörülebilir. Bu çalışmada, verimli orman sınıfına dahil olan yalnızca üç adet bölmecik üretimden çıkarılıp erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılmıştır. Bunlar; ÇsArb1, Çsbc1 ve KvDyb1'dir. Bu bulgu, Olur'da 2 ve 3 kapalı meşcerelerdeki toprak kaybının 5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'ın üstüne çıkmadığını göstermesi açısından önemlidir. Ayrıca söz konusu üç bölmeciğe gevşek (1) kapalılıkta oldukları için planda daha önce ara hasılat etası verilmemiştir (OGM, 2015b). Dolayısıyla bu tez çalışması kapsamında Olur PB'nde erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılan yeni meşcereler yüzünden eta kaybı yaşanmamıştır.



Şekil 63. Bu çalışma kapsamında Olur PB'nde erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılan orman alanları

Olur'un mevcut orman amenajman planındaki E-Toprak Koruma İşletme Sınıfı'nda 10 yıllık dönüş süresi için kararlaştırılan eta miktarı toplamda 1810 m^3'tür. Bu miktar periyodik (20 yıllık) olarak 3620 m^3'e tekabül etmektedir. Etanın tamamı ara hasılattan gelmektedir (OGM, 2015b). Amenajman planı ve bu çalışma kapsamında üretilen fonksiyon haritaları arasında önemli farklılıklar oluşmuştur (Şekil 64a-b). Örneğin, amenajman planında 5413 ha alan erozyonu önleme, 58963 ha alan ise doğayı koruma

fonksiyonuna ayrılmıştır. Ayrıca çalışma alanının güneyindeki Oltu Çayı boyunca uzanan 5121 ha'lık alan da hidrolojik fonksiyona ayrılmıştır (OGM, 2015b). Aslında Olur PB'nin amenajman planı raporunda yazan bilgilerle, sayısal veri tabanı çelişmektedir. Nitekim, planda 58963 ha olarak raporlanan doğayı koruma alanlarının içine mera gibi orman dışı alanlar da dahil edilmiştir. Hatta sayısal veri tabanındaki BOLMECIK katmanında Me rumuzuyla yer alan meşcere tipleri orman fonksiyonları haritasında OT'ye çevrilerek planlama biriminin kuzeyi tümüyle mor renge (doğayı koruma) boyanmıştır. Halbuki bu alanlar orman dışı sahalardandır ve amenajman yönetmeliği gereği açık sarı renge boyanmalıdırlar (OGM, 2017). Bu çalışmada ise yalnızca erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılan alanlar 26621 ha'dır. İki fonksiyon haritası CBS ortamında üst üste çakıştırıldıklarında, kesişim kümesinin yaklaşık %19'luk alanı kapsadığı hesaplanmıştır. Dolayısıyla, plan verisinde daha önce erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılan alanların %81'i bu çalışma ile değiştirilmiştir denebilir. Değişen alanlarda gençleştirme ya da ara hasılat etası kararlaştırılmamıştır. Söz konusu alanların planlama birimine dağılışına bakıldığında, Akdağ silsilesinin güney yamaçlarından başlayıp Oltu Çayı'na kadar inen bandın, yüksek erozyon riski nedeniyle ilgili fonksiyona ayrıldığı anlaşılmaktadır. Oysa bu bandın güney kesimi amenajman planında hidrolojik fonksiyon ve kısmen de doğayı koruma fonksiyonuna ayrılmıştır. Esasında, söz konusu alanlar BArDy ve OT meşcere tiplerinden oluşmaktadır. Dolayısıyla buralarda üretim amaçlı herhangi bir müdahale yapılmadığı için iki fonksiyon arasında bir çelişkiden söz etmek mümkün değildir. Ancak, bu çalışma kapsamında yapılan fonksiyonel tahsis uyarınca ileride ilgili alanlarda bitki örtüsünü güçlendirici faaliyetler yapılırsa toprak kaybıyla beraber su veriminin de düşeceği öngörülebilir. Çünkü Roces-Diaz ve ark. (2018) ve Asan (2013a) gibi birçok araştırmacı, erozyonu önleme fonksiyonuyla su üretimi arasında ters yönlü ilişki olduğunu bildirmektedirler. Bu nedenle, önceliğin hangi fonksiyona verilmesi gerektiği, yerel halkın da içinde bulunduğu paydaşlar grubu tarafından katılımcı bir yaklaşımla net olarak belirlenmelidir. Diğer taraftan, Akdağ'ın kuzey yamaçlarındaki normal kapalı ormanların kuzeyinden başlayıp planlama biriminin kuzeyindeki yüksek rakımlı kesimlerde yer alan verimli meralara kadar uzanan alanların büyük kısmının da erozyonu önleme fonksiyonuna ayrıldığı görülmektedir (Şekil 63). Bu alanlar, çoğunlukla OT-E, OT-T ve boşluklu kapalı meşcerelerden oluşmakta olup amenajman planında doğayı koruma fonksiyonuna ayrılmıştır (Şekil 64a). Halbuki söz konusu

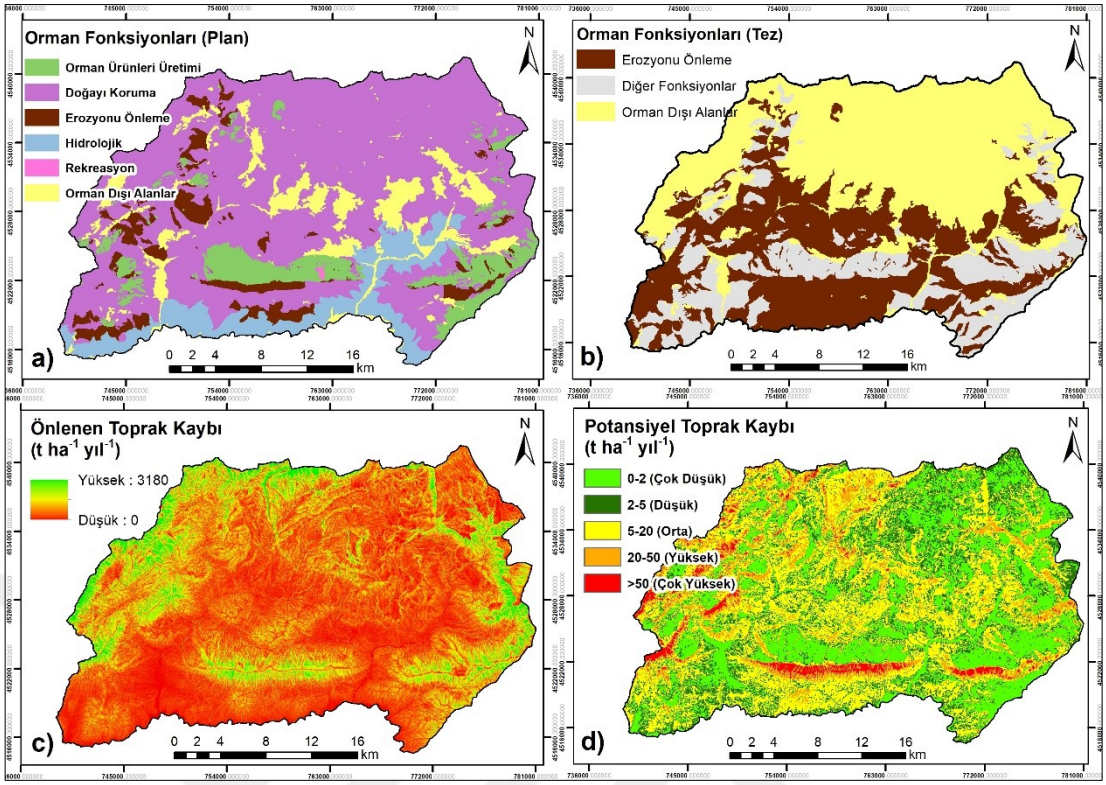
alanlardaki erozyon riski yüksek, toprak kaybı ise tolere edilebilir limitlerin (ort. 5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$) üzerindedir (Wischmeier ve Smith, 1978; Foster ve Constantini, 1991; Morgan, 2005; Mandal ve ark., 2006). Dolayısıyla, buralarda kapalılığı arttırıcı yönde ağaçlandırma ve bitkilendirme faaliyetleri yürütülmelidir. Bunun için erozyonu önleme fonksiyonu en uygun fonksiyon olacaktır.

Şekil 64b-c'te dikkat çeken diğer bir nokta; bu çalışmada Olur PB için erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılan alanların önlenen toprak kaybının yüksek olduğu yerlerle genelde örtüşmesidir. Ancak, buradaki örtüşme Veliköy'deki kadar belirgin değildir. Örneğin; çalışma alanının orta kesimlerinde erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılan alanlar, önlenen toprak kaybı haritasında kırmızı ve sarı renkli alanlardandır. Yani bu alanlardaki bitki örtüsünün toprağı koruma performansı düşüktür. Bunun nedeni; Olur'da Veliköy'dekinin aksine çok fazla ağaçsız orman (OT) alanı bulunması ve bu alanların üzerindeki çalı ya da diğer otsu vejetasyonun erozyonu yeteri kadar engelleyememesidir. Fakat bu durum, söz konusu alanların erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılmasına mani olmamalıdır. Bilakis, Veliköy'de ilgili fonksiyona ayrılan alanlarda yapılması gereken faaliyetler farklı, Olur'dakiler ise daha farklıdır. İlkinde, mevcut verimli ormanlardan faydalanmanın kısıtlanması gerekirken; ikincisinde, ağaçsız ya da boşluklu kapalı orman alanlarının ağaçlandırma ya da rehabilitasyon ile verimli hale getirilmesi gerekmektedir.

Bilindiği gibi Türkiye'deki orman amenajman yönetmeliğine göre (OGM, 2017) şeflik sınırları dahilindeki %60 ile %79 arası eğime sahip orman alanları erozyonu önleme, %80 ve üstü olanlar ise doğayı koruma fonksiyonuna ayrılmaktadır. Bu ayrım kriteri akılda tutularak Şekil 62b ve Şekil 64d karşılaştırmalı olarak incelendiğinde; %60 ve üstü eğime sahip alanlar ile potansiyel toprak kaybının çok yüksek olduğu alanlar arasında konumsal uyumsuzlukların bulunduğu görülmektedir. Bununla birlikte, Olur PB'ndeki uyumsuzluklar Veliköy'deki kadar belirgin değildir. Ancak, özellikle yıllık toprak kaybının 50 t ha^{-1} ve üstü olduğu kuzey batı kesimlerin eğimi %60'ın altındadır. Bu ve buna benzer bulgular, şiddetli erozyonun yalnızca %60 ve üstü eğimdeki arazilerde yaşanmayabileceğini ya da %60 üstü eğimli olmasına rağmen erozyon görülmeyen alanların da varolabileceğini göstermesi açısından önemlidir. Buradan

hareketle, erozyonu önleme fonksiyonlu alanların ayrılmasında eğim kriterinin tek başına kullanımının yeterli olmadığı anlaşılmaktadır.

Son olarak, erozyonu önleme fonksiyonu görecek sahalara karar verirken, neden yıllık potansiyel toprak kaybına ait eşik değer yerine önlenen toprak kaybına ait farklı bir eşik değerin (örn. >100 t ha^{-1} $yıl^{-1}$) kullanılmadığı sorgulanabilir. Diğer bir ifadeyle, bu fonksiyona ayrılacak sahalar, önlenen toprak kaybı miktarının en yüksek olduğu kesimlerden seçilebilirdi. Böyle yapılmamasının nedeni; ekosistem içerisinde kendiliğinden var olan fonksiyonların potansiyel olarak sunulduğu, aktüelde akışa geçtiği ve toplum tarafından talep edildiği konum ve miktarların birbirinden farklı oluşudur. Orman ürünleri üretimi fonksiyonu için somut bir örnek vermek gerekirse; sürdürülebilir olarak işletilen bir ormandaki odun potansiyeli (ağaç serveti), o ormandaki aktüel odun akışından (eta) ya da o bölgedeki orman ürünleri endüstrisinin odun hammaddesine olan ihtiyacından çoğu zaman farklıdır. Aynı durum, erozyonu önleme fonksiyonu için de geçerlidir. Yani fonksiyonun en üst düzeyde sağlandığı yerler, o fonksiyona en çok ihtiyaç duyulan yerler olmayabilir. Bu yaklaşım tarzı ilk kez Burkhard ve ark. (2014) tarafından kavramsallaştırılmış ve ekosistem hizmetleri konsepti içerisinde benimsenmiştir (Burkhard ve Maes, 2017). Dolayısıyla, bu tez çalışmasında yapılan alansal tahsislerde gösterge olarak yıllık potansiyel toprak kaybı miktarına ait kritik eşik değer olan 5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ kullanılmıştır. Bu değer aynı zamanda arazinin doğal süreçlerle tolere edebileceği yaklaşık toprak kaybı miktarıdır (Wischmeier ve Smith, 1978; Foster ve Constantini, 1991; Morgan, 2005; Mandal ve ark., 2006).

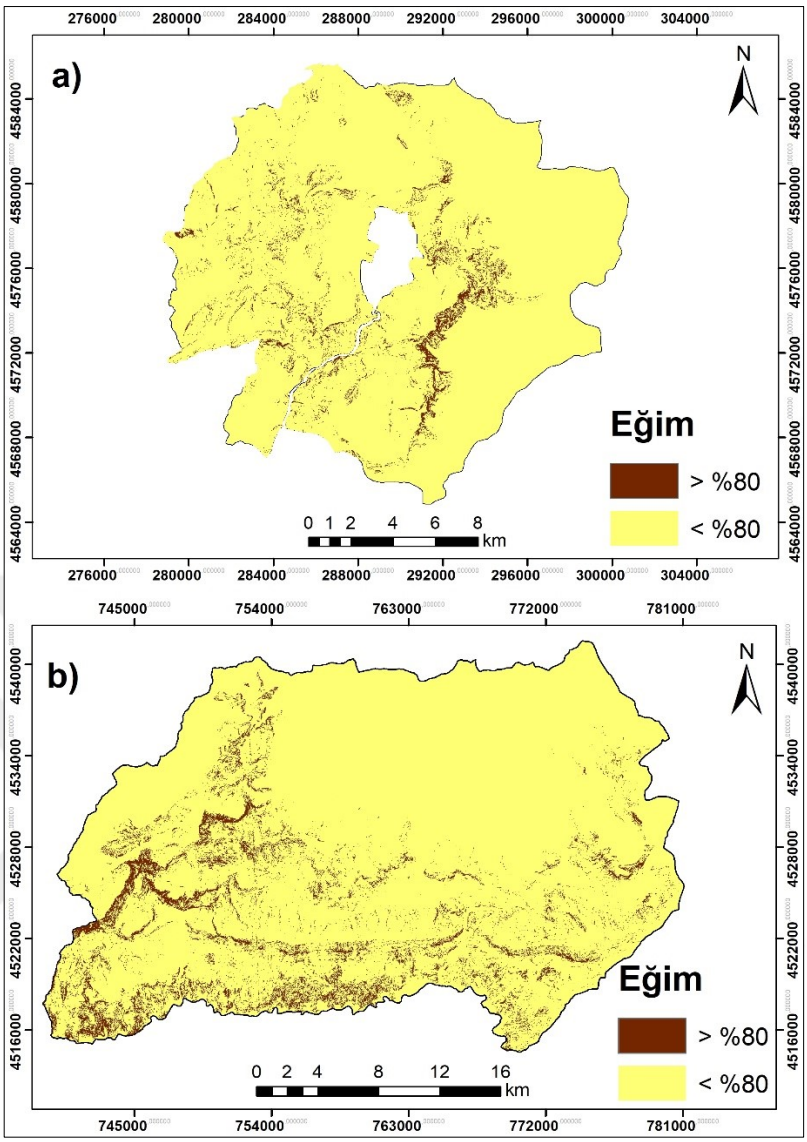


Şekil 64. Olur için üretilen haritaların karşılaştırılması: OAP fonksiyonları (a), bu çalışmada erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılan alanlar (b), önlenen erozyon (c) ve potansiyel erozyon (d) haritaları

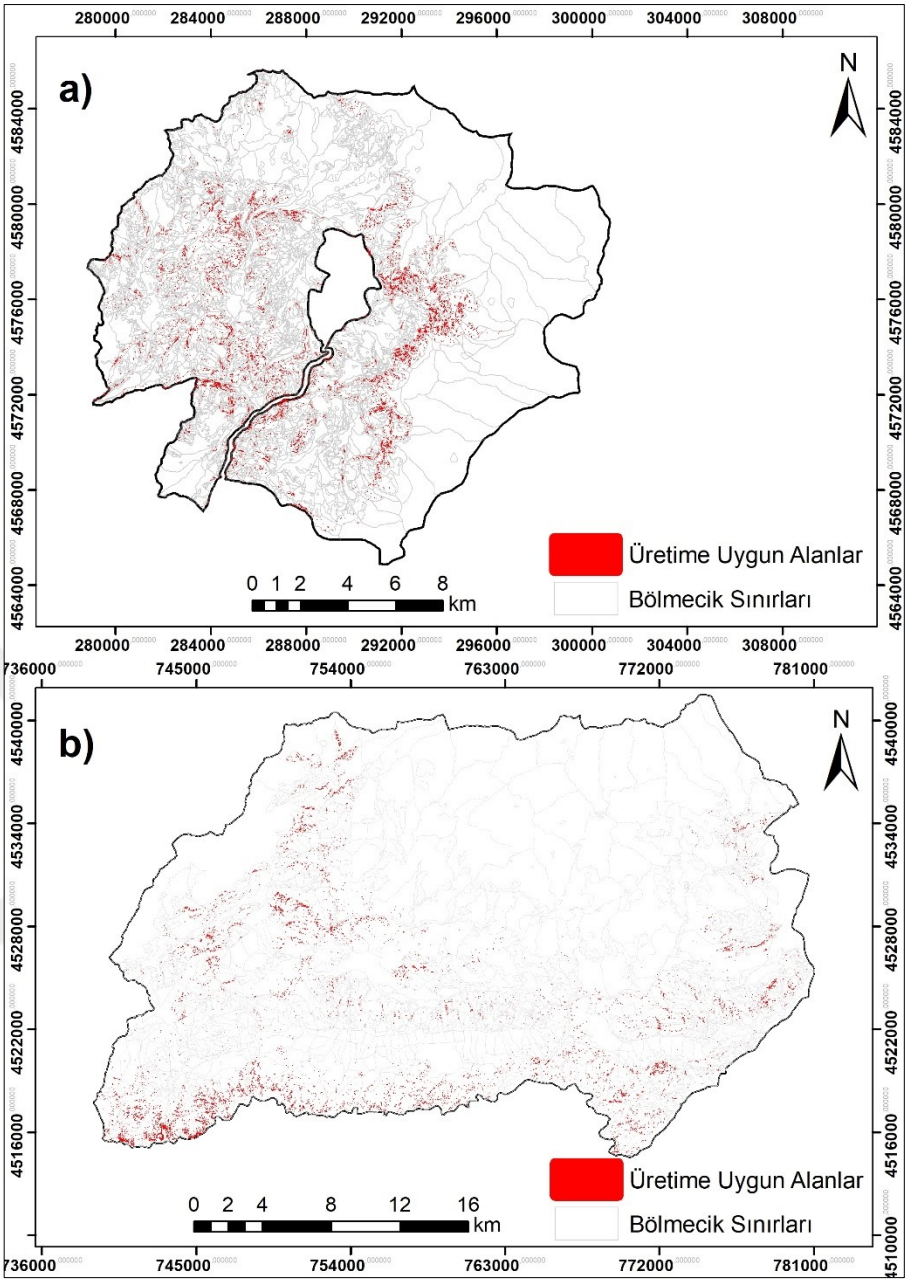
3.5.2. Doğa Koruma Fonksiyonundan Alınıp Üretime Verilebilecek Sahalar

Veliköy Planlama Birimi'ndeki %80 ve üzerinde arazi eğimine sahip orman alanları Şekil 65a'da haritalanmıştır. Bu alanlar Şekil 62a'da haritalanan %60 ve üstü eğimli sahaların marjinal kısımlarında yer almakta ve daha az yer kaplamaktadırlar. Mevcut amenajman planlarında mevzuat uyarınca (OGM, 2017) doğayı koruma fonksiyonuna ayrılması gereken bu alanların CBS'deki analizi sonucunda bunların bir kısmında erozyonun şiddetli olmadığı görülmüştür. Dolayısıyla buradaki meşcerelerin bir kısmı orman ürünleri üretimi fonksiyonuna ayrılabilir. Şekil 66'da %80 ve üzeri eğime sahip olup, tolere edilebilir toprak kaybı miktarının (5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$) altında erozyona maruz kalan ormanlık sahalar kırmızı renkle haritalanmıştır. Haritaya göre Veliköy PB'nde toplam 763,4 ha ormanlık saha doğayı koruma fonksiyonundan çıkartılarak üretime konu edilebilme potansiyelindedir. Bu miktar, doğayı korumaya ayrılmış toplam ormanlık sahanın yaklaşık %16'sıdır. Ancak harita piksel ölçeğinde olduğundan uygulamada meşcere bazında (blok saha) bu kadar alan çıkmayacaktır. Bu nedenle, meşcere ölçeğinde görsel bir yorumlama daha yapılmış ve çoğunluğu kırmızı pikselli

uygun sahalardan oluşan bölmecikler belirlenmiştir. Buna göre toplamda 668,9 ha'lık alana sahip olan 67 bölmecik bu kriterleri karşılamaktadır ve üretime konu edilmelidir. Ancak bunlardan bazıları tohum meşceresi olmaları ya da doğayı koruma fonksiyonunda olmalarına rağmen planda eta verilmiş olması gibi nedenlerle elenmiştir. Geriye kalan ve mevcut amenajman planlarında doğayı koruma fonksiyonuna ayrılmış olan bölmeciklerin toplam alanı 259,8 ha'dır. Söz konusu bölmeciklerin listesi Tablo 56'da sunulmuştur. Listedeki meşcere tipleri incelendiğinde, odun üretimi açısından oldukça verimli ve ağaç servetleri genelde yüksek olan meşcerelerin yoğunluğu dikkat çekmektedir. Bu meşcerelerin üretime konu edilmesi halinde elde edilecek periyodik eta miktarı 83419 m^3'tür. Bu miktarın 80762 m^3'ü son hasılattan, 2657 m^3'ü ise ara hasılattan gelmektedir. Ara ve son hasılat miktarlarının ayrıntılı hesaplanışı 2.3.10 numaralı bölümde verildiğinden burada tekrarlanmamıştır. Bununla birlikte, toplam hasılatın uygulamada alınabilmesi için gerekli olan yol ağı ve hava hattı sistemleri, Veliköy PB'nin bağlı bulunduğu Şavşat Orman İşletme Müdürlüğü'nde mevcuttur. Nitekim, bölmeden çıkarma işlemi %80 ve üzeri eğimdeki sahalarda yapılacaktır.



Şekil 65. Veliköy (a) ve Olur (b) PB'nde %80 ve üstü eğime sahip ormanlık alanlar



Şekil 66. Veliköy (a) ve Olur (b) PB'lerinde doğayı koruma fonksiyonundan çıkarılarak üretime ayrılabilecek sahalar

Tablo 56. Veliköy ve Olur PB'lerinde doğayı koruma fonksiyonundan çıkarılarak üretime ayrılabilecek bölmeciklerin dökümü

Veliköy Planlama Birimi					Olur Planlama Birimi				
Bölme No.	Meşcere tipi	Silv.müd. şekli	Alan (ha)	Per. eta* (m^3)	Bölme No.	Meşcere tipi	Silv.müd. şekli	Alan (ha)	Per. eta* (m^3)
42	Lbc3-2	Bakım	1,6	96	3	Çscd1	Genç.	2,0	356
46	LMab3	Bakım	15,6	156	37	Çscd1-1	Genç.	2,8	494
48	LÇsc2	Bakım	6,9	317	80	Çsbc3	Bakım	9,7	155
48	LÇsbc3	Bakım	6,5	442	212	Çsbc3	Bakım	8,7	139
48	LGcd2	Bakım	4,3	249	264	ÇsKvbc2-1	Bakım	20,3	203
53	LÇscd2	Genç.	9,7	4798	266	Çscd3-2	Genç.	21,1	6011
69	Ma3-1	Bakım	3,8	0	275	ÇsKvbc2-2	Bakım	8,9	89
83	LÇsc3-2	Bakım	3,1	229					
90	ÇsLd3	Genç.	1,3	823					
91	LÇscd2-3	Genç.	3,2	1581					
94	Lc2-1	Bakım	1,8	94					
121	Lcd2-4	Genç.	1,4	619					
129	LGcd3-3	Genç.	3,0	2137					
130	Gcd2-1	Genç.	3,7	1780					
130	Gcd2-2	Genç.	5,4	2598					
131	GLcd3	Genç.	31,5	19221					
131	GLcd2	Genç.	5,4	2779					
133	GLcd2	Genç.	31,7	16316					
134	Gcd2-1	Genç.	3,3	1587					
134	Gde2	Genç.	2,2	1411					
161	Lc3-5	Bakım	8,6	602					
161	LGc3-1	Bakım	1,1	64					
161	HUvAka3	Bakım	1,5	0					
196	Mab3	Bakım	6,0	0					
196	GLcd3	Genç.	16,1	9825					
198	GLcd2	Genç.	4,0	2059					
198	GLcd3	Genç.	8,9	5431					
201	LMab3-1	Bakım	40,8	408					
203	Ma3	Bakım	2,3	0					
203	Mab2-4	Bakım	3,8	0					
208	MGnab3-1	Bakım	5,4	0					
212	MGnab3-1	Bakım	3,8	0					
223	GLcd2	Genç.	2,7	1390					
223	GLcd3	Genç.	10,5	6407					
	TOPLAM		**259,8**	**83419**		**TOPLAM**		**73,5**	**7447**

***** Periyodik eta; ilgili meşcerenin tüm alanından plan süresi olan 20 yıllık periyot boyunca alınabilecek toplam odun hasılatıdır.

Olur Planlama Birimi'ndeki %80 ve üzerinde arazi eğimine sahip orman alanları Şekil 65b'de haritalanmıştır. Mevcut amenajman planlarında mevzuat uyarınca doğayı koruma fonksiyonuna ayrılmış olan bu alanlar üretime konu edilmemektedir (OGM, 2017). Fakat CBS'de yapılan konumsal analizler sonucunda bu alanların bir kısmında tıpkı Veliköy'de olduğu gibi erozyonun şiddetli olmadığı görülmüştür. Şekil 66b'de %80 ve üzeri eğime sahip olmasına rağmen tolere edilebilir toprak kaybı miktarını (5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$) aşmayan erozyon olayları yaşanan ormanlık sahalar kırmızı renkle haritalanmıştır. Haritaya göre Olur PB'nde 1301,1 ha büyüklüğündeki ormanlık saha doğayı koruma fonksiyonundan çıkartılarak üretime konu edilebilme potansiyeline sahiptir. Bu miktar Olur'da doğayı koruma fonksiyonuna ayrılmış toplam ormanlık sahanın yaklaşık %6'sına tekabül etmektedir. Ancak, uygulamada blok olarak bu kadar orman alanı çıkmamaktadır. Bu yüzden meşcere ölçeğinde görsel bir yorumlama daha yapılmış ve çoğunluğu kırmızı renkli, uygun sahalardan oluşan bölmecikler tek tek belirlenmiştir. Buna göre Olur PB'nde yalnızca 89,1 ha'lık saha bu kriterleri karşılamaktadır. Çünkü potansiyel olarak uygun sahaların çok büyük bir bölümü boşluklu kapalı ormanlardan ya da ağaçsız orman toprağından (OT) oluşmakta ve odun üretimine konu edilememektedir. Toplamda 89,1 ha büyüklüğünde alana sahip sekiz bölmeciğin biri rekreasyon sahası olması nedeniyle elenmiştir. Geriye kalan 73,5 ha'lık sahanın dökümü Tablo 56'da görülebilir. Listedeki meşcere tipleri incelendiğinde, hem sayı hem alan hem de hasılat olarak Veliköy PB'ndekilerden çok daha az oldukları ve ağaç servetlerinin ortalama düzeyde olduğu anlaşılmaktadır. Bunun nedeni; Olur PB'ndeki sınırlı sayıdaki verimli meşcerelerin büyük bölümünün planda zaten üretim fonksiyonlarına tahsis edilmiş olmalarıdır. Söz konusu meşcerelerin doğayı koruma fonksiyonundan çıkarılıp üretime verilmesiyle ilk periyotta 7447 m^3'lük ek eta sağlanacaktır. Bunun 6861 m^3'ü gençleştirmeden, geriye kalan 586 m^3'ü ise bakımdan gelmektedir. Hesaplanan ek eta miktarının uygulamada ormandan alınabilmesi için gerekli olan yol ağı Olur'da mevcuttur. Ancak, %80 ve üzeri eğimdeki sahalarda etkili ve doğa dostu odun üretimi yapabilmek için Şavşat Orman İşletme Müdürlüğü'ndeki gibi hava hattı sistemlerinin kullanılması daha uygun olacaktır.

3.5.3. Periyodik Etadaki Kayıp ve Kazançlar

Bu tez çalışmasında sunulan yeni yaklaşımla Veliköy ve Olur PB'lerinden elde edilebilecek eta miktarları ile mevcut orman amenajman planlarındaki eta miktarları arasında + ve – yönde bir takım farklılıklar oluşmuştur. Oluşan farklılıkların yönü ve bunların hangi orman fonksiyonlarında neden oluştuğu Tablo 57'de gösterilmiştir. Buna göre Veliköy PB'nde plan süresince elde edilebilecek odun üretiminde net %7,7'lik bir düşüş yaşanmaktadır. Bunun temel nedeni; mevzuat gereği (OGM, 2017) doğayı koruma fonksiyonuna ayrılan sahalarda üretime müsaade edilmemesine rağmen, Veliköy orman amenajman planında ilgili meşcerelere ara hasılat etası verilmesidir (OGM, 2013). Verilen periyodik eta 88800 m^3 olup azımsanmayacak miktardadır. Bölgedeki verimli ve seçme orman kuruluşlarının fazlalığı plan yapıcıyı eğim kriteri gereği doğayı korumaya ayrılması gereken meşcerelerin aktüelde uygun olanlarını üretime vermeye itmiştir. Esasında plan yapıcı ve deneticinin bu yönde kullanmış olduğu inisiyatif mevzuattaki ayrım kriterlerinin yetersizliğini ve değiştirilmesi gerektiğini de ortaya koymaktadır. Nitekim, bu tez çalışmasının da hipotezini oluşturan bu sorun, erozyon açısından riskli görülmeyen eğimli sahaların doğayı koruma fonksiyonundan çıkarılarak üretime verilmesiyle çözülmüştür. Buna ilaveten planda erozyonu önleme fonksiyonu görmesi beklenen meşcerelere verilen eta da sıfırlanmıştır. Çünkü söz konusu meşcerelerin uygun kriterlere dayalı olarak ayrılmadığı ve çoğunun erozyon açısından riskli alanlarda yer aldığı tespit edilmiştir. Son olarak planda üretim fonksiyonuna verilmiş olmasına rağmen erozyon açısından riskli alanlarda bulunan meşcereler, erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılarak etaları sıfırlanmıştır. Bu nedenle yaşanan periyodik eta kaybı yalnızca 287 m^3'tür. Sonuç olarak, içinde bulunduğumuz periyotta Veliköy PB'nin odun üretimi miktarında 34228 m^3''lük düşüş yaşanmıştır (Tablo 57). Ancak, yukarıda bahsedildiği gibi planda mevzuata aykırı bir şekilde yapılan bir işlemden kaynaklanan bu durum düzeltildiğinde, yani doğayı koruma fonksiyonuna verilen eta silindiğinde Veliköy'deki periyodik eta miktarı toplamda %12,3 oranında artmaktadır.

Tablo 57. Veliköy ve Olur PB'lerindeki eta miktarlarında oluşan değişimler

	Değişimin sebebi	Veliköy PB	Olur PB
Kayıplar	Planda DK fonk.na verilmiş eta (m^3)	(−) 88800	0
	Planda EÖ fonk.na verilmiş eta (m^3)	(−) 28560	(−) 3620
	Bu çalışmada EÖ fonk.na kaydırılan yeni meşcerelerin etası (m^3)	(−) 287	0
Kazançlar	Bu çalışmada DK fonk.ndan çıkarılıp üretime verilen meşcerelerin etası (m^3)	(+) 83419	(+) 7447
	Net periyodik eta miktarı (m^3)	(−) 34228	(+) 3827
	Toplam periyodik etaya oranı (%)	(−) 7,7*	(+) 1,8

* Doğayı koruma fonksiyonuna verilmiş olan eta miktarı kaldırıldığında, bu oran +%12,3'e yükselmektedir.

Bu tez çalışmasında yapılan yeni düzenlemeyle Olur PB'nin odun üretimi %1,8 artmıştır. Bu oran 3827 m^3'e tekabül etmektedir ki bu miktar Olur gibi odun verimi oldukça düşük olan bir şefliğin içinde bulunduğu işletmenin finansmanı için önemlidir. Üretimdeki artışın temel nedeni; Olur'un orman amenajman planında mevzuata (OGM, 2017) uygun davranılarak doğayı koruma fonksiyonuna eta verilmemiş olmasıdır (OGM, 2015b). Olur'da erozyonu önleme fonksiyonu gören ormanlara ise toplamda 3620 m^3'lük eta verilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında söz konusu eta miktarı sıfırlanmıştır. Ancak, planda doğayı koruma fonksiyonuna ayrılmış olmasına rağmen erozyon riski açısından sorunsuz ve üretime uygun sahalar üretim fonksiyonuna ayrılarak bunlardan 7447 m^3'lük periyodik eta alınması kararlaştırılmıştır. Sonuç olarak, kayıp ve kazançlar toplandığında Olur PB'nde 3827 m^3'lük net kazanç elde edilebilmektedir.

Kandziora ve ark. (2013) da senaryolar yardımıyla çeşitli fonksiyonlar arasındaki etkileşimleri analiz eden bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmanın sonucunda erozyonu önleme fonksiyonunu önceleyen bir doğal kaynak yönetim tarzının; doğa koruma, yapacak odun üretimi, ODOÜ üretimi, ekoturizm ve rekreasyon, estetik ve toplum sağlığı fonksiyonlarını olumlu yönde etkileyerek, onların kapasitesini arttıracağını raporlamışlardır. Özellikle yapacak odun üretimindeki artış, Olur PB'nden sağlanabilecek eta kazancını doğrular niteliktedir. Diğer taraftan Karahalil ve ark. (2009), ormanların odun üretimi, su üretimi ve toprak koruma fonksiyonlarını parasal

olarak değerlendiren bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu amaçla farklı stratejiler geliştiren araştırmacılar, çalışmanın sonunda toprak kaybını minimize eden stratejinin 100 yılın sonunda en düşük net bugünkü değeri ürettiğini ortaya koymuşlardır. Bir başka çalışmada ise Mumcu Küçüker (2015), ODOÜ fonksiyonunun orman amenajman planlarına entegre edilmesi halinde Kanlıca mantarından (*Lactarius sp.*) elde edilebilecek parasal hasılanın, odun üretiminden elde edilene oranla büyük ölçüde arttırılabileceğini göstermiştir. Görüldüğü gibi, literatürde bu çalışmanın sonuçlarıyla uyuşan ve çelişen farklı bulgular mevcuttur. Çelişkili bulguların söz konusu çalışmalarda kullanılan farklı sayısallaştırma yöntemlerinden (doğrusal programlama, RUSLE, regresyon analizi vd.) ve 20 yıldan 100 yıla kadar uzanabilen değişik planlama ufuklarından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, bu tez çalışmasındaki yaklaşımın benimsenmesi halinde, Türkiye'deki diğer orman işletme şefliklerinin birçoğunda da tıpkı Veliköy ve Olur'daki gibi odun üretimi miktarlarının arttırılabileceği düşünülmektedir. Buna ilaveten, hazırlanan tez çalışmasında doğayı korumadan çıkarılarak üretime verilen meşcerelerin ara hasılat etaları kararlaştırılırken, meşcere tiplerindeki 10 yıllık artımın yalnızca %30'u oranında eta kararlaştırılmıştır. Bu oran, her iki işletme şefliği için plan yapıcıların da belirledikleri eta miktarına dayanak teşkil etmektedir (OGM, 2013; OGM, 2015b). Bununla birlikte, ilgili mevzuat üretim işletme sınıflarında artımın 2/3'üne kadar eta kararlaştırılmasına izin vermektedir (OGM, 2017). Hatta yaş sınıfları dağılımı eşit, optimal ormanlarda (regulated forests) artımın komple alınması halinde bile sürdürülebilirliğin zarar görmeyeceği bilinmektedir (Davis ve ark., 2001; Bettinger ve ark., 2009). Fakat Türkiye'de –Kızılçam hariç olmak üzere– geçmişten beri süregelen bir gençleştirme problemi yaşandığından ormanlar genellikle yaşlıdır (Kose ve Baskent, 1997). Dolayısıyla ihtiyat olarak artım miktarının tamamının ormandan çıkartılması doğru olmaz. Ancak, uygun sahalarda –mevzuatın da izin verdiği gibi– artımın 2/3'ü alınarak ara hasılattan gelen eta miktarlarını yaklaşık iki kata kadar yükseltmek mümkündür. Bakım etasının bu oranlarda kararlaştırılması halinde Tablo 57'deki kazançların daha da arttırılabileceği açıktır.

3.5.4. Meşcere Tipi Ölçeğinde Kılavuz Erozyon Tablosu

Saf Sarıçamdan oluşan 22 farklı meşcere tipi için üretilen kılavuz tablo, Tablo 58'de sunulmuştur. Plan yapıcıların talepleri doğrultusunda olabildiğince sadeleştirilmiş olan bu tablo sayesinde Türkiye'deki Sarıçam işletme sınıflarındaki saf meşcereler için daha hızlı ve isabetli kararlar alınabilir. Tablo 58 incelendiğinde; beklendiği gibi tüm meşcere tiplerinin yüksek eğim sınıfında (>%30) meydana gelen toprak kaybı miktarları düşük eğim sınıfında (<%30) meydana gelenden daha fazladır. Özellikle Çsa rumuzuyla anılan Sarıçamın başarılı gençleştirme sahalarında eğim sınıfına göre oluşan fark çok fazladır. Düşük eğimli gençleştirme sahalarında ort. 1 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ toprak kaybı yaşanırken, yüksek eğimde bu miktar 6,1 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'a ulaşarak kritik eşik olan 5 tonu geçmektedir. Bu durum, Çsa sahalarında gençleştirmenin başarılı olmasına rağmen kapalılığın henüz tam olarak oluşmamasından kaynaklanabilir. Özellikle eğimli sahalarda gençleştirmeyi takip eden ilk yıllarda (kapalılığın teşekkülüne kadar) erozyon riski kritik seviyelere çıkmaktadır. Borrelli ve Schütt (2014) ve Borrelli ve ark. (2017b)'nın bulguları da bu yöndedir. Araştırmacılar İtalya'da gerçekleştirdikleri çalışmalarda, erozyona karşı vejetasyonun kapalılık etkisinin tıraşlama kesimden ancak dört yıl sonra yeniden sağlanabildiğini tespit etmişlerdir. İtalya'da kesimin ikinci yılında 17,59 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'a kadar çıkan toprak kaybı, devam eden yıllarda katlanarak düşmüş ve giderek sıfıra yaklaşmıştır. Dolayısıyla, Türkiye'de de plan yapıcıların %30 ve üstü eğime sahip sahaları gençleştirmeye verirken çok dikkatli olmaları gerekmektedir. Özellikle tıraşlama kesimlerde ilk birkaç yıl saha izlenmeli, mümkünse özel koruma önlemleri alınmalıdır.

Meşcere tipleri kendi aralarında değerlendirildiğinde, hem düşük, hem de yüksek eğim sınıfında toprak kaybının, tam (3) kapalı meşcerelerden orta (2) kapalı, gevşek (1) kapalı, boşluklu kapalı (B), boşluklu kapalı taşlık kayalık saha ve boşluklu kapalı erozyon sahalarına doğru arttığı görülmüştür. Yıllık ortalama toprak kaybı, yüksek eğim sınıfındaki boşluklu kapalı Sarıçam erozyon sahalarında (BÇs-E) maksimuma ulaşmaktadır. Bu sahalardaki miktar 28,5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ olup tolere edilebilir toprak kaybı üst eşiğinin (5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$) beş katından daha fazladır. Arazi gözlemleri söz konusu sahalarda aktif erozyon olduğunu ve bu nedenle koruma, rehabilitasyon ya da ağaçlandırma gibi teknik faaliyetlerin buralarda tek başına yeterli olmayacağını

göstermiştir. Bu yüzden, orman amenajman planlarında BÇs-E, BÇs-T gibi rumuzlarla gösterilen marjinal sahalarda öncelikle arazi hazırlığı ya da bitkilendirme gibi ön çalışmaların yapılması gereklidir. Yüksek eğim sınıfındaki gevşek kapalı (1) meşcereler ise koruma ve rehabilitasyon faaliyetleri için uygundur. Orta (2) ve tam (3) kapalılıktaki meşcereler ister düşük ister yüksek eğim sınıfında olsun, genellikle erozyon açısından herhangi bir risk teşkil etmemektedirler (Tablo 58). Yine de Çsc2 ve Çsc1 gibi kritik eşiğe (5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$) yakın toprak kaybı yaşanan tipler proaktif bir korumacı yaklaşımla erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılabilir.

Tablo 58. Saf Sarıçam meşcereleri için oluşturulmuş kılavuz erozyon tablosu

Meşcere tipi	Yıllık ort. toprak kaybı (t ha^{-1} $yıl^{-1}$)	
	Eğim<%30 ise	Eğim>%30 ise
BÇs	2,3	**7,0**
BÇs-E	–	**28,5**
BÇs-T	**6,6**	**8,0**
Çsbc2	1,2	2,5
Çsbc2-T	–	**15,8**
Çsbc3	0,7	1,3
Çsc3	0,4	1,3
Çscd1	1,7	4,5
Çscd2	1,3	2,3
Çscd3	0,8	1,3
Çsde1	3,0	–
Çsa	1,0	**6,1**
Çsab2	–	0,7
Çsb1	–	**5,6**
Çsb2	–	1,8
Çsb3	0,3	1,2
Çsbc1	5,0	–
Çsc1	–	**5,2**
Çsc2	–	3,7
Çscd/a	0,9	–
Çsd1	–	**6,0**
Çsd1/a	–	1,5

* Veliköy ve Olur'da ilgili eğim sınıfında (–) işaretli meşcereden yeterli sayıda bulunmamaktadır.
** Tolere edilebilir toprak kaybını (ort. 5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$) aşan değerler kalın (bolt) puntoyla yazılmıştır.

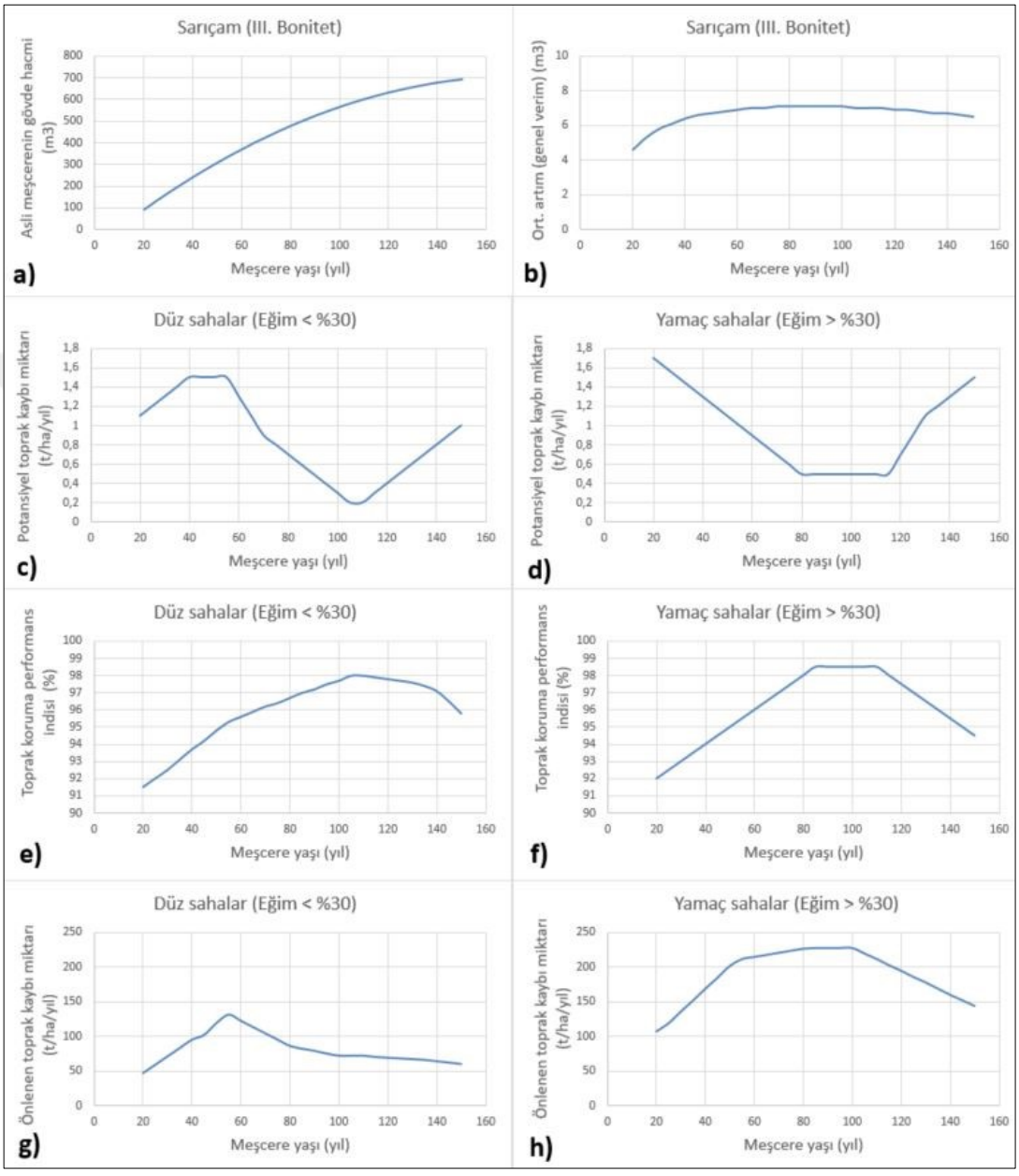
Tabloda dikkat çeken diğer bir nokta; Çscd/a ve Çscd1/a gibi gençleştirmenin devam ettiği ya da üst katmanda kalın ağaçlık çağında bireylerin, alt katmanda gençliğin bulunduğu katlı meşcere tiplerindeki toprak kayıplarının oldukça az olmasıdır. Bu bulgu, Savaşan (1999)'ın deneyim ve gözleme dayalı olarak yaptığı önerileri doğrular niteliktedir. Ancak gençlik katı tesis edildikten sonra üst kattaki siper ağaçlarının da boşaltılmasıyla toprak kaybının ne yönde seyir izleyeceği belirsizliğini korumaktadır. Çünkü çalışma alanlarında bulunan Çsa, Çsa3 gibi meşcere tiplerinin sayıları sınırlı, alanları da oldukça küçüktür. Dolayısıyla, yurtdışındaki örnekleri gibi (Garfi ve ark., 2006; Borrelli ve ark., 2017b) ülkemizde de verimli orman ekosistemlerinde gençleştirme sonrası erozyon izleme çalışmaları yapılmalıdır. Gelişen sensör ve uzaktan algılama teknolojileri buna imkan tanımaktadır. Örneğin; bu tez çalışmasında farklı bir amaç için kullanılan NDVI'in zaman serileri, gençleştirme alanlarındaki toprak kayıplarının zamansal değişim analizi için de kullanılabilir.

3.5.5. Fonksiyonun Sarıçam Hasılat Tablosuna Entegrasyonu

Erozyonu önleme fonksiyonuna ait sayısal verilerin Sarıçam hasılat tablosuna (Batu, 1971) entegre edilmiş hali Ek-15'te görülebilir. Ek-15'teki önemli değişkenlere ait verilerin meşcere yaşına göre zamansal değişimini gösteren grafikler Şekil 67'de toplu olarak sunulmuştur. Şekil 67e'ye göre; eğimin %30'dan daha az olduğu tam kapalı saf Sarıçam meşcerelerinin TKPİ'leri gövde hacmine paralel olarak 105 yaşına kadar sürekli artmaktadır. 105 yaşında kesime olgunluk çağına gelmiş bir meşcerenin TKPİ %98'dir. Bu değer, o meşcerenin bulunduğu sahadaki maksimum toprak kaybını (Senaryo 1: Çıplak saha koşulları) %98 oranında azaltabildiğini göstermiştir. Meşcere yaşı 110'u geçtiğinde ise TKPİ'nin yavaş yavaş düşüşe geçtiği anlaşılmıştır. Bu düşüşte, yaşlı ağaçların meşcereden ayrılarak sahada boşluklar oluşturması etkili olmuş olabilir (Ercanlı ve Yavuz, 2006). Eğimin %30'dan fazla olduğu yamaç sahalarda da TKPİ'nin genel trendi değişmemiştir. Bu sahalarda performanstaki artış 85 yaşına kadar sürmüş, 110 yaşına kadar stabil kalmış ve devamında düşüşe geçmiştir (Şekil 67f).

Yamaçlı sahalardaki potansiyel toprak kaybı (Şekil 67d) ve TKPİ grafiklerinin (Şekil 67f) birbirinin simetrisi olması dikkat çekicidir. Benzer bir simetri durumu, −yamaçlı sahalardaki kadar belirgin olmamakla birlikte− aynı değişkenlerin düz sahalardaki

grafikleri için de geçerlidir. Bunlar, TKPİ arttıkça potansiyel toprak kaybının o oranda düşüşe geçtiğini göstermesi ve TKPİ'nin güvenilir bir indis olduğunu göstermesi açısından önemlidir.



Şekil 67. Erozyonu önleme fonksiyonuna ilişkin verilerin Sarıçam hasılat tablosuna (III. bonitet) göre değişimi

Literatürde erozyon verilerinin direkt olarak hasılat tablosuyla ilişkilendirildiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak Jiang ve ark. (2018), erozyonu önleme fonksiyonu ile ormanların karbon depolama fonksiyonu arasındaki etkileşimleri incelemiştir. Araştırmacılar Çin'de gerçekleştirdikleri çalışmada erozyonu önleme ve karbon

depolama arasında doğrusal bir ilişkiden ziyade, birbirlerini baskılayan bir etkileşimden söz etmektedirler. Buna göre iki fonksiyon arasındaki ilişki kambur (ters−U) şeklinde olup, ormanda karbon depolama arttıkça erozyon önleme fonksiyonunun da güçlendiği; ancak, belli bir seviyeden sonra düşüşe geçtiği belirtilmiştir. Ormanda karbon depolanması ağaçların biyokütlesiyle ilgili olduğundan ve biyokütle de genel olarak meşcere yaşıyla ve gövde hacmine paralel olarak arttığından iki çalışma arasında karşılaştırma yapılabileceği düşünülmüştür. Bu yönüyle Jiang ve ark. (2018)'nın bulguları bu çalışmadaki TKPİ grafikleriyle benzerlik göstermektedir.

Şekil 67g'deki önlenen toprak kaybı miktarları incelendiğinde; düşük eğim sınıfında 20 yaşta 47 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ ile başlayan miktarın; 55 yaşında 131 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'a kadar çıktığı, daha sonra azalma trendine girerek 150 yaşında 60 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'a kadar gerilediği görülmüştür. Buradan, kesime olgunluk çağını geçmiş yaşlı bir meşcerenin önlediği toprak kaybı miktarının, genç meşcerelerden biraz daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Bunun nedeni, yaşlı meşcerelerin tabanında uzun yıllar birikmiş olan kalın ölü örtü tabakası olabilir (Berg ve Laskowski, 2006). Yüksek eğimli yamaç sahalarda da benzer bir durum gözlenmiştir. Ancak önlenen toprak kaybı miktarları arasında en az iki kat fark vardır (Şekil 67h). Özellikle meşcere yaşlandıkça, bu fark daha da açılabilmektedir. Örneğin; 100 yaşında bir saf Sarıçam meşceresi düşük eğimde 72 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ toprak kaybını önlerken, aynı meşcerenin yüksek eğimde önlediği toprak kaybı 228 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'a çıkmıştır (Ek-15). Buna neden olan faktör; yüksek eğimli sahalarda oluşan toprak kaybı miktarının, daha fazla oluşu ve dolayısıyla önlenen toprak kaybı miktarının da buna paralel olarak artmasıdır. Diğer bir ifadeyle, düşük eğimli sahalarda tam kapalı meşcerelerin toprağı koruma kapasitelerinden tam olarak faydalanılamamakta; orman ekosistemi, erozyonu önleme fonksiyonu açısından kısmen atıl vaziyette kalmaktadır.

Son olarak potansiyel toprak kayıpları değerlendirildiğinde, düşük eğimli düzlük sahalarda ilginç bir durumla karşılaşılmıştır (Şekil 67c). Beklenmedik bir şekilde 20 yaşındaki genç meşcerelerdeki potansiyel toprak kayıpları 40 yaşına kadar artış göstermiş, 40'tan 60 yaşına kadar stabil kalmış ve nihayet 60 yaşından sonra azalma trendine girmiştir. Yamaç sahalarda böyle bir durumla karşılaşılmamıştır (Şekil 67d). Bu istisnai durum; orman teşkilatının, uygun düşük eğimli arazilerde yaptığı yoğun

şiddetli bakım (aralama) müdahaleleri ile ilişkilendirilebilir. Hasılat tabloları her ne kadar müdahale görmemiş, saf ve doğal meşcereler için düzenlenmiş olsa da, ülkemizde –özellikle düz sahalarda– müdahale görmemiş orman bulmak oldukça zordur (Batu, 1971; Ercanlı ve Yavuz, 2006). Dolayısıyla buralarda kapalılığı kıracak şiddette yapılmış uygunsuz bakım müdahaleleri ya da kaçak kesimler nedeniyle böyle bir sonucun ortaya çıktığı düşünülmektedir. Yüksek eğimli sahalarda ise böyle bir sorun yoktur. Potansiyel toprak kaybı miktarı 20 yaşındaki meşcerelerde 1,7 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'dan aşağı doğru düşmekte, 80 yaşında 0,5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'a inmektedir (Ek-15). Yaklaşık 120 yaşına kadar bu değer korunmakta ve toprak kaybı bu yaştan sonra yeniden artmaktadır (Şekil 67d). Artışın nedeni; idare süresini aşmış ağaçların böcek, ökseotu, kar/fırtına vb. biyotik ya da abiyotik zararlarla sahadan ayrılarak meşcerede boşluklar oluşturması (Ercanlı ve Yavuz, 2006; Asan, 2017) olabilir. Bu boşluklar kapalılık yüzdesini düşürmekte ve kısmen çıplak alanlarda yağmur suyunun aşındırıcı ve sürükleyici etkilerini arttırmaktadır.

3.5.6. İdare süresinin belirlenmesi ve optimal meşcere parametreleri

Bu çalışmada sunulan TKPİ sayesinde Sarıçamın Toprak Koruma İşletme Sınıfları için optimal idare süreleri bilimsel olarak ortaya konmuştur. Ek-15 ve Şekil 67 birlikte değerlendirildiğinde; idare süresinin çok uzun tutulduğu koruma fonksiyonlu ormanlarda odun üretimi yanı sıra erozyonu önleme fonksiyonunun da olumsuz etkilendiği görülmektedir. Dolayısıyla, III. bonitetteki Sarıçam ormanlarında 100−120 yıl olarak belirlenecek idare süresinin erozyonu önleme fonksiyonu için optimal olduğuna karar verilmiştir. Bu süre, yetişme ortamı verim gücü ve arazinin eğimine bağlı olarak 20 yıl kadar uzatılabilir ya da kısaltılabilir. Örneğin; fena bonitetli Sarıçam ormanının idare süresi 140 yıl olarak kararlaştırılabilir.

Hali hazırda, Türkiye'deki üretim amaçlı Sarıçam işletme sınıfları için kararlaştırılan idare süreleri de, genel olarak 100−120 yıl aralığındadır. Bununla birlikte, orman amenajman planlarımızda Toprak Koruma ve Doğayı Koruma İşletme Sınıfları'ndaki idare sürelerinin 200 hatta 300 yıla kadar uzatıldığı görülmektedir (OGM, 1989; OGM, 2013; OGM, 2018; Mumcu Kucuker ve Baskent, 2017; Bozali, 2020). Halbuki bu çalışmanın bulguları, idare süresinin bu kadar uzun belirlenmesinin toprağın korunması üzerinde olumlu bir etkisinin olmadığını, bilakis meşcerelerin toprak

koruma performanslarının tedricen azaldığını ortaya koymuştur. Bunun doğal bir sonucu olarak, orman arazilerindeki potansiyel toprak kayıpları zamanla artmaktadır (Ek-15).

Bu çalışmada Sarıçamın Toprak Koruma İşletme Sınıfı için 100−120 yıl olarak önerilen idare süresine karşılık gelen göğüs yüzeyi; III. bonitet için yaklaşık 55 m^2 ha^{-1} olmalıdır (Ek-15). Bu seviyedeki göğüs yüzeyi, ormanda erozyonu önleme fonksiyonunun maksimize edilmesi için yeterlidir. 55 m^2 ha^{-1}'lik göğüs yüzeyi değeri ilk etapta oldukça yüksekmiş gibi görünse de, bu değere sahip bir Sarıçam meşceresinin orta çapı yaklaşık 28 cm'dir (Batu, 1971). Bilindiği gibi, 28 cm'lik orta çapa sahip bir meşcere, henüz ince ağaçlık (c) çağındadır. Böyle bir meşcerede birim alanda (1 ha) yaklaşık 900 ağaç bulunmakta ve bu ağaçlar yaklaşık 600 m^3 ha^{-1}'lık meşcere hacmi oluşturmaktadır (Ek-15). Dolayısıyla bu değerler, Sarıçam Toprak Koruma İşletme Sınıfı için hedef meşcere parametrelerini, diğer bir ifadeyle optimal orman kuruluşunu ortaya koymaktadır. Ancak meşcere parametrelerine ait söz konusu değerlerin orta bonitette, hiç müdahale görmemiş (normal sıklıkta), tam kapalı (>%70) ve saf doğal Sarıçam ormanları için olduğu unutulmamalıdır.

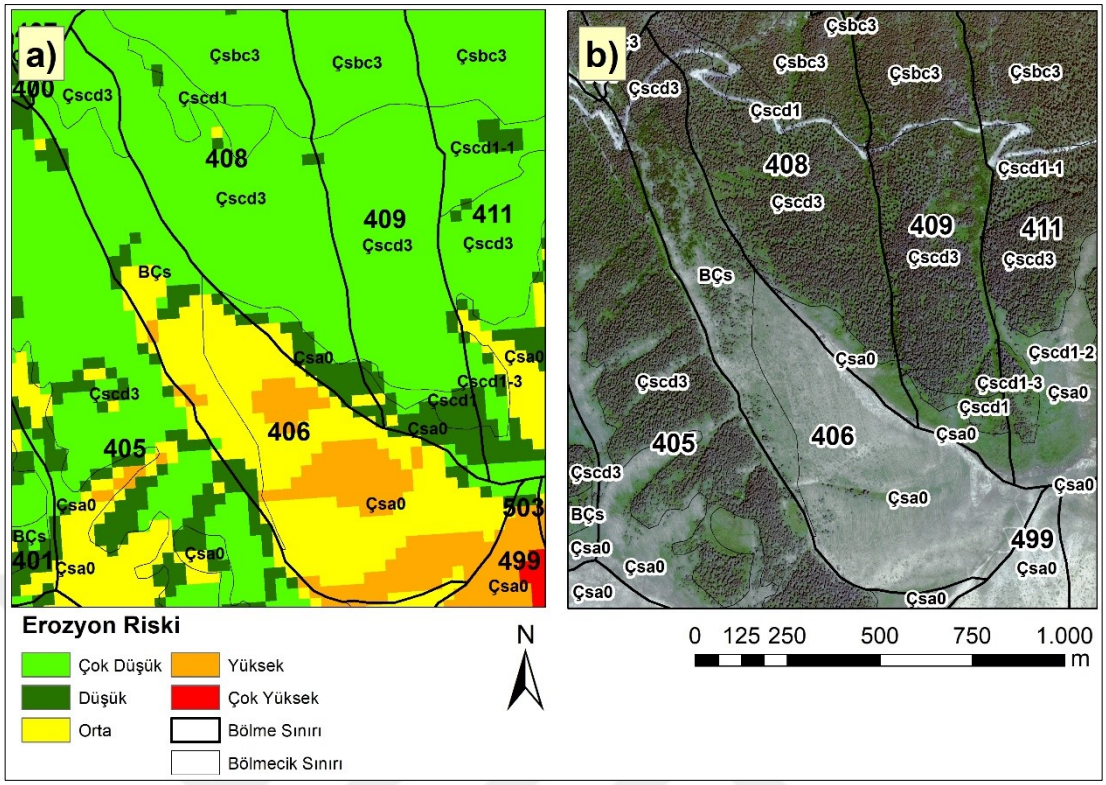
Bu yönüyle, yukarıda sunulan değerlerin ormanı planlayanlara somut bir yön (hedef) göstereceği düşünülmektedir. Böylece ormanın planlama yörüngesi boyunca saptanan hedefe ne kadar yaklaştığı ya da ondan ne kadar saptığı sayısal olarak ortaya konabilecek ve plan başarısı ölçülebilecektir. Buna ilaveten Ek-15'teki verilerin, gelecekte ormanlardan optimal olarak sağlanabilecek ürün ve hizmet akışını kestirmeye yarayan projeksiyon çalışmaları ve karar destek sistemi yazılımları için de önemli birer altlık oluşturacağı düşünülmektedir.

3.5.7. Erozyon Haritasının Meşcere Haritasına Altlık Olarak Kullanılması

Ormanı planlayanların ve uygulamacıların (orman işletme şefleri) meşcere haritası üzerinden toprak erozyonunu görsel olarak değerlendirebilmeleri için, piksel ölçeğinde erozyon risk haritaları hazırlanmıştır. Veliköy ve Olur PB'leri için hazırlanan ilgili haritalar, okuma kolaylığı açısından büyütülerek Ek-16 ve Ek-17'de ayrı ayrı sunulmuştur. Bu haritalarda erozyon riski beş sınıfa ayrılmıştır. Haritadaki renkler, erozyon riskini piksel ölçeğinde "Çok Düşük"ten "Çok Yüksek"e kadar

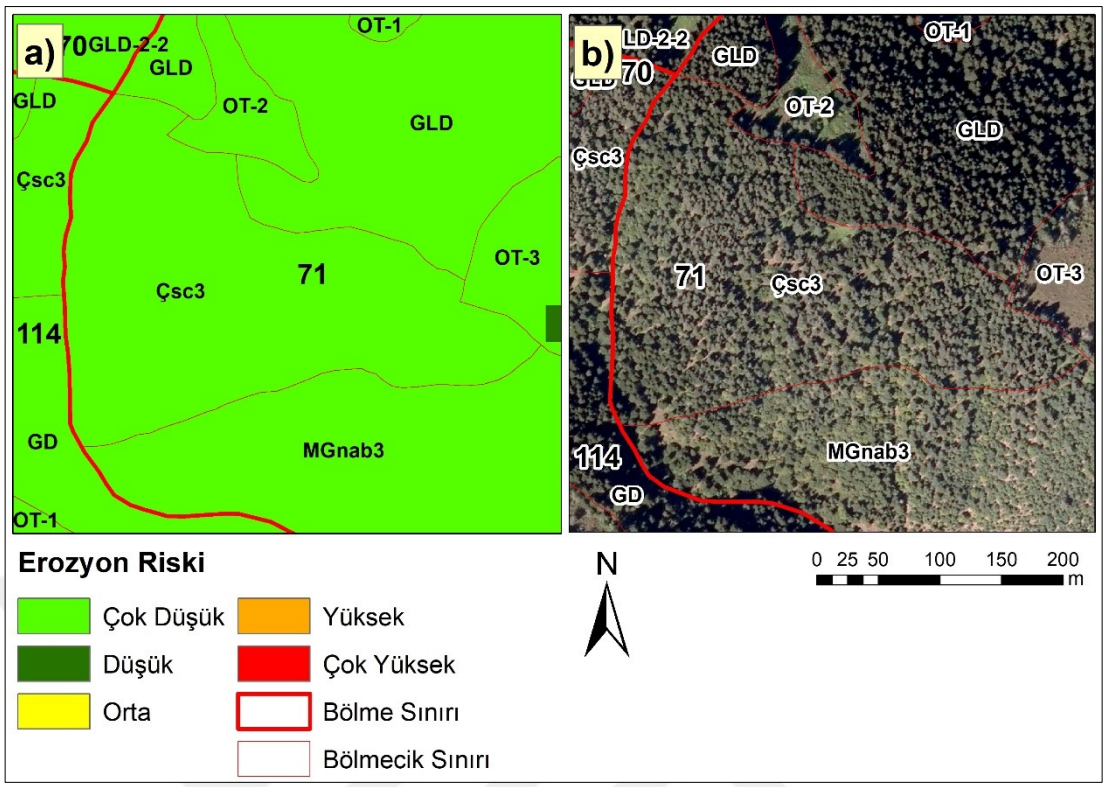
göstermektedir. Ayrıca meşcere tipi rumuzları da haritalarda yer almaktadır. Bu sayede, tolere edilebilir toprak kaybının (5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$) üzerinde erozyon yaşandığı için erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılmış olan meşcerelerin ötesinde, bölmecik genelinde yüksek erozyon riski oluşmamasına rağmen lokal anlamda (tekli piksel ya da piksel grupları) riskli görülen küçük sahalara sahip bazı bölmecikler de görsel olarak analiz edilebilmektedir. Bu tip sahaları ayrıntılı olarak analiz etmek isteyen ya da buralarda ağaçlandırma, rehabilitasyon gibi ormancılık faaliyetleri yürütmek isteyen uygulamacılar, Ek-16 ve Ek-17'deki haritalardan faydalanabilirler.

Örneğin; Olur PB'nde 406 numaralı bölme içinde bulunan BÇs bölmeciğinin çoğunluğu erozyon açısından riskli görülmemektedir (Şekil 68a). Bununla beraber, bölmeciğin güney kesiminde toplanmış sarı renkli alanlarda orta derecede erozyon riski vardır (toprak kaybı 5−20 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ aralığında). Bu tez çalışmasında BÇs bölmeciği bir bütün olarak değerlendirilmiş ve erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılmamıştır. Plandaki fonksiyon haritasında ise aynı bölmecik yalnızca eğim açısından değerlendirilmiş ve erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılmıştır (OGM, 2015b). Yine 406 numaralı bölmede yer alan Çsa0 bölmeciği ise, çoğunlukla sarı ve turuncu renkli alanlardan oluştuğu için erozyon açısından risklidir (Şekil 68a). Dolayısıyla, planda üretim fonksiyonuna ayrılmış olmasına rağmen bu çalışma kapsamında erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılmıştır. Bu bölmeciğin ileride başarılı şekilde gençleştirilebilmesi halinde, bir sonraki plan döneminde tekrardan üretim fonksiyonuna aktarılabilir. Diğer yandan, aynı bölmeciğin doğu kenarında lokal olarak yeşil renkli pikseller de bulunmaktadır. Fakat bunlar çoğunluğu oluşturmadığı için dikkate alınmamıştır. Aksi takdirde, mevcut plan verisinde bulunan binlerce bölmeciğin çok küçük poligonlara bölünerek toplam bölmecik sayısının daha da artmasına yol açılır. Bu durum gerek meşcere haritalarının okunabilirliğini, gerek sahadaki aplikasyonunu, gerekse de plan tablolarının düzenlenmesini zorlaştıracaktır. Ayrıca amenajman planlarının hacmi daha da artacaktır. Bu nedenlerle, plandaki aktüel bölmeciklerin parçalanması yoluna gidilmemiş, erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılan bölmecik rumuzlarının sonuna "-E" harfi eklenmiştir.



Şekil 68. Ek-17'nin 406 numaralı bölme için detaylı gösterimi: erozyon risk haritası (a) ve uydu görüntüsü (b)

Son olarak Veliköy PB'nden de bir örnek vermek gerekirse, 71 numaralı bölme içerisinde kalan tam kapalı Çsc3 bölmeciği analiz edilebilir (Şekil 69). Bu bölmecik orman amenajman planında salt topografik gerekçelerle erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılmıştır (OGM, 2013). Fakat Veliköy'ün erozyon risk haritası altlık olarak kullanıldığında, ne bölmeciğin üzerinde bulunduğu sahada ne de çevresinde ciddi bir erozyon riski görülmemektedir (Şekil 69a). Dolayısıyla, söz konusu bölmecik bu tez çalışması kapsamında erozyonu önleme fonksiyonundan çıkarılarak üretime açılmıştır. Bölmecik ölçeğindeki örnekleri orman amenajman planlarındaki fonksiyon haritalarının, Ek-16 ve Ek-17 ile beraber incelenmesi yoluyla çoğaltmak mümkündür.



Şekil 69. Ek-16'nın 71 numaralı bölme için detaylı gösterimi: erozyon risk haritası (a) ve hava fotoğrafı (b)

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ormanların erozyonu önleme fonksiyonunun Türkiye'deki orman amenajman planlarına yansıtılabilmesi için gerekli olan kavramsal çerçeve ortaya konmuş ve pilot olarak seçilen Veliköy ve Olur PB'lerinde uygulaması gösterilmiştir. Bu kapsamda, yeni bir envanter tasarımı yapılarak erozyonu önleme fonksiyonu sayısallaştırılmış ve meşcere yapısıyla ilişkilendirilmiştir. Bunun için RUSLE erozyon tahmin modeli temel alınmış ve çalışma alanlarında iki ayrı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar yardımıyla ilgili fonksiyon için çeşitli performans göstergeleri geliştirilmiştir. Bunlar; önlenen toprak kaybı miktarı, yıllık potansiyel toprak kaybı miktarı ve toprak koruma performans indisi (TKPİ)'dir. Geliştirilen kantitatif göstergeler sayesinde, erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılacak alanlar isabetli bir şekilde belirlenmiş ve orman amenajmanında önemli bir yer tutan meşcerelerin toprak koruma işletme amacına olan katkıları sayısal olarak değerlendirilebilmiştir. Böylelikle, Toprak Koruma İşletme Sınıfları için idare süreleri geçmişe nazaran daha rasyonel bir şekilde, veriye dayalı olarak kararlaştırılabilmektedir.

Yalnızca orman ekosisteminin erozyonu önleme fonksiyonu sayesinde, Veliköy ve Olur PB'leri genelinde her yıl sırasıyla 2,59 Mt ve 5,08 Mt'luk potansiyel toprak kaybı önlenmektedir. Mera, ziraat vd. AKAÖ sınıfları da dikkate alındığında bu miktarlar katlanarak artmaktadır. Çalışma kapsamında kurulan senaryolar, Veliköy'deki tüm bitki örtüsünün kaldırılması halinde, alandaki yıllık ortalama potansiyel toprak kaybı miktarının yaklaşık 25 kat artacağını ortaya koymuştur. Aynı miktar Olur'da dokuz (9) kattır. Veliköy ve Olur'da kapalılığı %10'un üzerinde olan normal kapalı ormanların toprak kaybını çıplak saha koşullarına göre (Senaryo 1) sırasıyla ort. %96,2 ve %91,4 oranında azaltabildikleri tespit edilmiştir. Meşcere tipi bazında en yüksek TKPİ'leri; seçme ormanlarındaki GD, GLD, LA, GLC, GA, GLA gibi çok katlı ve grift kapalılıktaki kuruluşlardan elde edilmiştir. Aynı yaşlı ve maktalı ormanlarda ise Çsc3, Çscd3, LGÇscd3, GÇsbc3, Çsb3, Çsbc3 gibi meşcere tipleri toprak koruma performansı açısından ön plana çıkmaktadırlar. Bu ormanlarda neredeyse hiç erozyon

yaşanmamaktadır (TKPİ = ~ %100). Bunların tam aksine T, Me-E, E, BÇs-E, BAr-T, BDy-E, BArDy-T, OT-T, Ma3-T ve BL-E gibi boşluklu kapalı, ağaçsız ya da taşlık/kayalık ve aktif erozyon sahası üzerinde kalan tiplerin, TKPİ'leri sıfır ile %50 arasında değişmektedir. Diğer bir ifadeyle, söz konusu arazi örtüleri çıplak saha koşullarında oluşacak maksimum toprak kaybı üzerinde hiç etkili olamamakta ya da tipine göre onu yarı yarıya kadar azaltabilmektedirler. Sahadaki yıllık maksimum toprak kaybı genellikle birim alanda (1 ha) 100 tonlarla ifade edildiğinden, bu miktarın %10'unun bile önlenmesi özellikle Olur PB gibi erozyon açısından yüksek riskli bölgeler için oldukça önemlidir. Nitekim, birçok erozyon modelleme uzmanı tarafından önerilen tolere edilebilir toprak kaybı miktarı ort. 5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ civarındadır. Bu miktarın üzerinde oluşacak toprak kayıpları zaman içerisinde arazi tahribatına neden olarak çölleşme ile sonuçlanabilir. Bu nedenle, orman ekosistemlerinin erozyonu önleme fonksiyonu yalnızca ormancılık disiplinini değil, tüm ülkeyi ilgilendirmektedir.

RUSLE erozyon modeli ile yapılan hesaplama ve konumsal analizlerde Veliköy ve Olur PB'lerinde *mevcut durum*da (Senaryo 2) meydana gelen potansiyel toprak kaybının sırasıyla ort. 7,8 ve 15,8 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ olduğu tahmin edilmiştir. Erozyon risk analizi sonucunda, Veliköy'ün alansal olarak %70'inde toprak kaybının tolere edilebilir limitler içerisinde olduğu; yaklaşık %20'sinde ise orta şiddette erozyon yaşandığı tespit edilmiştir. Geriye kalan yüksek riskli alanlar genellikle kuzeydoğuda Gürcistan sınırımızı oluşturan alpin ve nival zondaki dağ zirveleri ve doğuda Ardahan platolarına doğru ani yükseliş zonunda toplanmıştır. Söz konusu kesimler PB içerisinde oldukça küçük yer kapladıkları için Veliköy'de genel anlamda erozyon problemi olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Veliköy'ün aksine Olur PB'nin yaklaşık yarısında, toprak kaybı tolere edilebilir limitlerin üzerindedir. Erozyon açısından yüksek riskli alanlar genellikle batı kesimlerdeki Yıldızkaya ve Kekikli köyleri civarı yanı sıra Akdağ'ın güney yamaçlarındaki çıplak alanlarda yoğunlaşmıştır. Ek olarak, PB geneline heterojen şekilde yayılmış birçok sıcak nokta (erosion hotspot) bulunmaktadır. Bitki örtüsünden yoksun olan bu sahaların bolluğu Olur'daki ort. toprak kaybı miktarının tolere edilebilir eşik değerin yaklaşık üç katına ulaşmasına yol açmıştır. Dolayısıyla, Olur PB'nde yıllık ort. yağış az olmasına rağmen ciddi anlamda toprak erozyonu problemi yaşanmaktadır.

Bu çalışmada ortaya konan yaklaşım uyarınca, Veliköy ve Olur PB'lerindeki ormanlık alanların sırasıyla %12'si ve %37'si erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılmıştır. Bu oranlar Veliköy ve Olur orman amenajman planlarında sırasıyla %16 ve %7'dir. Tez ve plan verilerinin CBS ortamında konumsal olarak analiz edilmesi sonucunda, erozyonu önleme fonksiyonuna tahsis edilen ormanlarda sırasıyla %87 ve %81'lik alansal değişim yaşandığı tespit edilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında söz konusu fonksiyona ayrılan alanlardaki meşcere tipi rumuzlarının sonuna "-E" (erozyon) harfi eklenmiş ve buralarda odun üretimi öngörülmemiştir. Diğer taraftan, planda yalnızca %80 ve üstü eğime sahip olduğu için doğayı koruma fonksiyonuna ayrılmış olan bazı meşcereler ise erozyon riski yaşanmadığından üretime verilmiştir. Bu bağlamda, Veliköy ve Olur planlarında doğayı korumaya ayrılan ormanlarda alansal olarak sırasıyla %16 ve %6 oranlarında değişim yaşanmıştır. Bu suretle, uygulamadaki orman amenajman planına göre etada yaşanan kayıp ve kazançların bilançosu çıkarıldığında; genel alandaki periyodik (20 yıllık) etanın Veliköy PB'nde %12,3, Olur PB'nde ise %1,8 arttığı görülmüştür. Dolayısıyla, bu tez çalışmasında kavramsal çerçevesi çizilen entegrasyon stratejisinin ülke sathına yayılması durumunda, erozyonla çok daha aktif mücadele edilebileceği gibi orman ürünlerinden faydalanmanın da belirli oranlarda arttırılabileceği ortaya konmuştur. Türkiye'de her yıl yaklaşık 2 milyon ha alanın orman amenajman planlarının yenilendiği göz önünde bulundurulduğunda, bu yaklaşımın sistematik bir şekilde ilerleyen orman planlama sürecine dahil edilmesiyle yaklaşık 22,7 milyon ha büyüklüğündeki orman alanlarımızdan (ülkenin %29'u) her yıl kaybolan milyonlarca ton verimli üst toprak miktarının zamanla düşeceği ortadadır. Aynı zamanda ülkedeki endüstriyel odun arz açığı da bir miktar azalacaktır.

Ormanı planlayanlar ve uygulayıcıların, ormana yapılan tüm müdahalelerin erozyonu önleme fonksiyonu üzerindeki etkilerini önceden kestirebilmelerine ve işletme amacına uygun silvikültürel reçete hazırlayabilmelerine yardımcı olabilmek için TKPİ'ye ilaveten Sarıçam ağaç türünde kılavuz erozyon tablosu oluşturulmuştur (Tablo 58). Tabloya göre; düşük (<%30) eğim sınıfındaki saf Sarıçam meşcerelerinde kritik toprak kaybı olan 5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ eşiği genelde geçilmemektedir. Bunun tek istisnası BÇs-T rumuzlu taşlık/kayalık alan üzerindeki boşluklu kapalı saf Sarıçam meşcere tipidir. Yüksek (>%30) eğim sınıfındaki meşcerelerden ise; BÇs-E, BÇs-T, BÇs, Çsbc2-T, Çsa, Çsb1, Çsc1 ve Çsd1'in kritik eşiği geçerek orta düzeyde erozyon riski

yaşadıkları anlaşılmıştır. Diğer taraftan, Çscd3, Çsbc3, Çsb3 gibi tam kapalılıktaki meşcere tipleri yanı sıra Çscd/a gibi iki katlı meşcere tiplerindeki potansiyel toprak kayıpları 1 t ha^{-1} $yıl^{-1}$'ın bile altındadır. Bu sonuçlar, TKPİ sonuçlarıyla beraber değerlendirildiğinde, ormanlarda erozyonu önleme fonksiyonuna etki eden en önemli meşcere parametrelerinin yatay kapalılık ve katlılık olduğu anlaşılmaktadır.

Ülkemizde ne yazık ki, odun üretimi dışındaki fonksiyonlara ayrılan ormanlar için optimal kuruluşlar genellikle belli değildir. Bu alanlar aktüel durumlarına göre planlanmaktadır. Bu yüzden orman amenajman planlarında özellikle ekolojik ve sosyokültürel fonksiyonlara ayrılan ormanların potansiyel verim gücü kullanılamamakta, optimal idare süresi belirlenememekte, fonksiyonun sürekliliği garantilenememekte ve dolayısıyla gerçek anlamda fonksiyonel planlama (ETFOP) yapılamamaktadır. Bu sorunun giderilebilmesi için orman amenajmanı alanında yapılacak çok sayıda altlık çalışmaya ve bilimsel veri üretimine ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen performans göstergeleri Sarıçam hasılat tablosuna bağlanarak, optimal kuruluştaki orman alanlarında erozyon çıktılarının nasıl değiştiği hem grafik (Şekil 67) hem de numerik olarak ortaya konmuştur (Ek-15). Tablo uyarınca; düşük (<%30) eğimli sahalarda idare süresinin uzatılmasının anlamsız olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yüksek (>%30) eğimde ise 120 yılın üzerinde belirlenecek idare sürelerinin erozyonu önleme fonksiyonu üzerinde olumsuz etki yaratacağı ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla Türkiye'de Sarıçam üretim işletme sınıfları için genellikle 100−120 yıl olarak belirlenen idare süreleri, erozyonu önleme fonksiyonunun optimal seviyelerde sağlanması için uygun görülmektedir.

Erozyonu önleme fonksiyonunun sayısallaştırılması ve orman amenajman planlarına entegre edilebilmesi için gerekli olan potansiyel toprak kaybı, TKPİ ve C-faktörü gibi kantitatif göstergelerin modellenip haritalanması belirli seviyede uzmanlık ve zaman gerektirmektedir. Türkiye'deki amenajman heyetlerinin arazi ve büro çalışmaları nedeniyle yaşadıkları yoğun iş hacmi ise amenajmanın bilinen gerçekliklerinden biridir. Planlamacıların işini kolaylaştırmak için, yukarıdaki karmaşık göstergeleri kabul edilebilir doğruluk seviyelerinde tahmin edecek basit modeller geliştirilmiştir. Bu modeller sayesinde RUSLE erozyon tahmin modelinin ana çıktısı olan potansiyel toprak kaybını (A), yalnızca NDVI, eğim ve bakı değişkenleriyle RUSLE'yi hiç

koşturmadan R^2=0,74 belirtme katsayısına ulaşan seviyelerde tahmin etmek mümkün olmuştur (Eşitlik 49−50). Dolayısıyla, en azından Veliköy ve Olur PB'lerinin bundan sonraki plan yenileme çalışmalarında bu modellerden direkt olarak faydalanılabilir.

Benzer şekilde, TKPİ ve C-faktörünü de yalnızca NDVI değişkenini kullanarak, R^2=0,90 belirtme katsayısına ulaşan seviyelerde modellemek mümkün olmuştur (Eşitlik 46−48). UA ve sensör teknolojilerinin baş döndürücü şekilde geliştiği günümüzde NDVI, dünyada en yaygın kullanılan vejetasyon indislerinden biridir ve elektromanyetik spektrumun kırmızı ve yakın kızılötesi bantları yardımıyla hesaplanmaktadır. Ülkemizde plan yenileme çalışmaları kapsamında taslak meşcere haritalarının hazırlanması için planlamacılara renkli kızılötesi görüntüler verilmektedir. Dolayısıyla PB'lerinin NDVI haritaları, bu görüntüler ile CBS ortamında kolaylıkla üretilebilir. Bununla beraber, bu tez çalışmasında geliştirilen pratik modeller –C-faktörü hariç– literatürde bulunmamaktadır. Bu anlamda, söz konusu modellerin özellikle havza amenajmanı ve erozyon modelleme çalışan disiplinlere de yenilik getireceği düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında, toprak ilmi disiplinini yakından ilgilendirebilecek bir takım sonuçlara da ulaşılmıştır. Bilindiği gibi orman envanteri safhasında toprak örneklemesi de yapılmış ve toprak özellikleri meşcere parametreleriyle ilişkilendirilmiştir. İstatistik testler; eğimdeki artışın toprak aşınımını (K-faktörü) arttırarak toprağı erozyona karşı daha duyarlı hale getirdiğini göstermiştir. Benzer şekilde, toprak OM içeriği de tepe tacı kapalılığındaki artışla beraber artmaktadır. Ayrıca ibreli meşcerelerdeki toprakların, OM'ce geniş yapraklılardan daha zengin olduğu tespit edilmiştir. Son olarak, AKAÖ sınıfındaki değişimin toprak ve erozyonla ilgili neredeyse tüm göstergeleri anlamlı şekilde farklılaştırdığı görülmüştür. Özellikle boşluklu kapalı orman ve mera sınıflarında kumlu toprakların daha yaygın olduğu tespit edilmiştir. Fakat tüm bunlara rağmen, toprak özellikleriyle kurulan ilişkilerin, erozyonu önleme fonksiyonunun amenajman planlama sürecine entegrasyonu için tek başına yeterli olmadığı da anlaşılmıştır. Yine de buna benzer sonuçlar ile, Türkiye'de geçmişten beri birbirinden kopuk şekilde yürüyen toprak koruma ve orman amenajmanı disiplinleri arasındaki bağlantının kurularak, her ikisinin de ihtiyaçlarına cevap verebilen bir yaklaşım tarzı ve ortak çalışma zemini kurulacağı beklenmektedir.

Çalışma boyunca bazı kısıt ve darboğazlarla da karşılaşılmıştır. Bunlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir;

- Veliköy ve Olur PB'lerindeki Sarıçam işletme sınıflarında, her eğim sınıfında her bonitetten yeteri kadar saf ve müdahale görmemiş meşcere bulunamamıştır. Bu nedenle, fonksiyon göstergeleri hasılat tablosuna entegre edilirken yalnızca III. bonitete ait Sarıçam hasılat tablosu esas alınmıştır (Ek-15). Bu durum, Türkiye'deki diğer bonitet sınıflarında Sarıçam ormanlarına sahip PB'lerinde yapılacak planlama çalışmalarının ortalama değerler üzerinden gerçekleştirilmesini zorunlu kılacak ve planın başarısını belli ölçülerde düşürecektir.
- Çalışma çıktılarının klasik planla karşılaştırılması bir periyotla (20 yıl) sınırlandırılmıştır. Planlama yörüngesi boyunca uzun vadede gerçekleşebilecek ürün ve hizmet akışı kestirilmemiştir. Diğer bir ifadeyle planlama stratejik değil, taktiksel düzeyde kalmıştır. Bunun nedeni; Türkiye'deki orman amenajman planlarının da taktiksel düzeyde (20 yıllık) hazırlanmasıdır. Böylelikle, ülkedeki mevcut planlama sisteminin burada çizilen entegrasyon stratejisi ile daha kolay uyum sağlayacağı düşünülmektedir.
- RUSLE erozyon modeliyle tahmin edilen yıllık potansiyel toprak kaybı miktarının doğruluğu, sahaya kurulmuş erozyon parsellerinden elde edilen gerçek verilerle test edilmemiştir. Bulgular yalnızca benzer havzalarda aynı yöntemle yürütülen diğer çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Dolayısıyla RUSLE ile tahmin edilen toprak kaybı değerlerinin kesin değil, "potansiyel" olduğu unutulmamalıdır. Bununla birlikte, değerler erozyonun şiddeti bakımından matematik kesinlik içermese de, konumsal dağılışın ve farklı meşcere tiplerinde oluşan toprak kaybı miktarlarının birbirlerine oranlarının daha güvenilir olduğu düşünülmektedir. Orman amenajmanının ihtiyacı da zaten bu yöndedir.
- RUSLE erozyon modelinin önemli bileşenlerinden bitki örtüsü ve ürün yönetimi (C) faktörü modellemesi, vejetasyon evresinde alınan tek bir görüntü ile gerçekleştirilmiştir. Yılın farklı tarihlerinde alınacak görüntülerden üretilecek NDVI haritalarının ortalamasıyla yapılacak modellemeler özellikle

kışın yaprağını döken geniş yapraklı meşcerelere ait C-faktörlerinin tahmin başarısını bir miktar arttırabilir. Fakat Veliköy ve Olur PB'lerindeki orman alanları ekseriyetle yaprağını dökmeyen ibreli türlerden oluştuğu için, C-faktöründeki mevsimsel değişimler oldukça sınırlıdır. Dolayısıyla, bu kısıtın sonuç üzerindeki etkisinin düşük olacağı değerlendirilmiştir.

- RUSLE erozyon modelinin bileşenlerinden yağmur erozivite ve yüzeysel akış (R) faktörü modellenirken, kar halinde düşen yağışın tıpkı yağmur damlaları gibi toprağı aşındıracağı varsayılmaktadır. Bu varsayım RUSLE model yapısından ve meteorolojik verilerin karakteristiğinden kaynaklanmaktadır. Oysaki yumuşak kar tanelerinin erozivite değerleri daha düşük olacağı gibi toprağın üstünü örterek, erozyona karşı dolaylı yoldan koruyucu bir etki de gerçekleştirebilmektedir. Özellikle Veliköy PB'ndeki yüksek dağ zirveleri yılın önemli bir bölümünde karla kaplı kaldığı için bu kesimlerdeki erozyon, olduğundan biraz daha fazla tahmin edilmiş olabilir. Bu yanılgı, Veliköy'deki yıllık ort. potansiyel toprak kaybına da pozitif yönde yansımış olmalıdır. Modellemedeki bu kısıt, RUSLE gibi ampirik erozyon tahmin modelleriyle gerçekleştirilen tüm çalışmalarda olduğu gibi, bu çalışma için de bir eksiklik oluşturmuştur.
- Tolere edilebilir toprak kaybı miktarı olarak ortalama bir değer (5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$) alınmış ve bu değerin her iki PB'ndeki tüm alanlarda aynı olduğu varsayılmıştır. Halbuki tolere edilebilir toprak kaybı miktarı, toprak oluşum hızı ve toprak derinliğine bağlı olarak önemli değişimler gösterebilmektedir.
- Erozyonu önleme fonksiyonu için optimal orman kuruluşları belirlenmiştir, ancak bu kuruluşa ulaşmak için gerekli olan silvikültür reçetelerinin içeriği yani ormana ne zaman, nasıl ve ne şiddette silvikültürel müdahalelerde bulunulacağı belirsizliğini korumaktadır. Ayrıca, erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılan ormanlarda gençleştirmenin hangi teknikle yapılacağı konusu da tam olarak netlik kazanmamıştır.
- Bu çalışmada uygulanan yaklaşımla elde edilen sonuçların ekonomik analizi yapılmamış, fonksiyonun "net bugünkü değeri" hesaplanmamış, yalnızca biyofiziksel çıktılarla (eta−m^3, toprak kaybı−t ha^{-1} $yıl^{-1}$ vd.) sınırlı kalınmıştır. Dolayısıyla orman işletmelerinin ekonomik sürekliliği hakkında yorum yapılamamaktadır.

Tüm sonuç ve kısıtlamalar bir arada değerlendirildiğinde; planlamacılar, uygulayıcılar ve politika yapıcılar için ortaya konabilecek öneriler şu şekildedir;

- OGM'nin "*Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planlarının Düzenlenmesine Ait Usul ve Esaslar*" adlı 299 sayılı tebliğinde, erozyonu önleme fonksiyonlu alanların ayrılma ölçüt ve göstergeleri değiştirilmelidir. Salt arazi eğimi (%60−%80) ve kaba gözlemlere dayanan klasik ayrım kriterlerinin yerini altlık erozyon haritaları üzerinden belirlenecek eşik toprak kaybı değerleri (örneğin 5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$) almalıdır. Bu değerler, toprak ilmi, havza amenajmanı ve erozyon modelleme uzmanlarını içeren heyetler tarafından Türkiye'deki OBM ya da OİM'leri itibariyle belirlenebilir. Belirlenen eşik değerden daha şiddetli erozyon yaşanan sahalar bu çalışmada olduğu gibi erozyonu önleme fonksiyonuna tahsis edilmelidir.
- Ormanlık alanlarda herhangi bir erozyon tahmin modeli koşturmaksızın, salt arazi gözlemine dayalı olarak meşcere rumuzlarının sonuna "-E" (erozyon) sembolü konmamalıdır. Modelleme ya da ölçüm sonucunda buralarda gerçekten eşik toprak kaybı miktarının üzerinde erozyon yaşandığı biliniyorsa rumuza "-E" sembolü eklenmeli ve bu bölmecikler erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılmalıdır.
- Erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılan ormanlarda tolere edilebilir toprak kaybı miktarının (5 t ha^{-1} $yıl^{-1}$) üzerinde erozyon yaşandığı için üretim faaliyetleri durdurulmalıdır. Bu düzenlemenin başlangıçta eta kaybına yol açacağı düşünülse de, gereksiz yere koruma fonksiyonlarına tahsis edilen ormanların üretime verilmesiyle sağlanan kazanç sayesinde PB'lerinin toplam periyodik eta miktarlarında artış sağlanabildiği bu çalışmada gösterilmiştir.
- Çoğunluğu erozyon riski taşımayan piksellerden oluştuğu için, üretim fonksiyonlarına verilen bölmeciklerin bazılarında lokal olarak riskli piksel grupları bulunabilir. İleride UA verilerinin çözünürlüğü arttıkça, bu tip bölmecikler CBS ortamında daha küçük poligonlara bölünerek parçalanabilir. Bu parçalardan (patch) erozyon riski taşıyanların meşcere tipinin sonuna "-E" rumuzu getirilerek daha hassas ormancılık faaliyetlerinin yürütülmesi sağlanabilir. Bu çalışmada, PB'lerinin mevcut meşcere haritalarını değiştirmemek ve sahada harita okuma kolaylığı (aplikasyon) açısından, zaten

oldukça küçük olan bölmecikler (min. 0,3 ha) daha küçük parçalara bölünmemiştir.

- OGM'nin 299 sayılı tebliğindeki doğayı koruma fonksiyonlu alanların ayrılma ölçüt ve göstergeleri de güncellenmelidir. Çünkü sırf arazi eğimi yüksek (%80) olduğu için bu fonksiyona ayrılan alanların önemli bir kısmında erozyon riski yaşanmamaktadır. Şayet böyle bir risk var ise, bu alanlar zaten erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılmalıdır. Doğayı korumaya ayrılan ormanlarda üretim yapılmadığından verimli orman kaynaklarımızın bir kısmı odun üretimi açısından atıl vaziyette kalmaktadır. Tabiatı koruma alanı, tabiat parkı vd. statülü alanların yanı sıra gen koruma ormanı, tohum meşcereleri gibi özellikli alanlar bu konunun dışındadır ve her halükarda doğayı koruma fonksiyonuna ayrılmak zorundadır. Bununla birlikte, günümüzde MP gibi korunan alanlar için de amenajman planları düzenlenebilmekte ve buralardaki orman alanları toprak koruma gibi fonksiyonlara ayrılabilmektedir. Bu nedenle, hazırlanan tez çalışmasındaki yaklaşım tarzı MP'lar için de uygulanabilir.
- Amenajmanda kullanılan standart envanter karnesinin arka yüzüne yeni envanter tasarımı sonucunda hazırlanan ve Ek-2'de sunulan karne eklenmelidir. Amenajman heyetinde yer alan teknik personel, envanter karnesindeki ilave değişkenlerin (ölü örtü kalınlığı, gözlenen erozyon tipi, yüzey pürüzlülüğü, toprak nemi vd.) nasıl ölçülüp kaydedileceği konusunda toprak ve ekoloji uzmanları tarafından bir defaya mahsus uygulamalı eğitime tabi tutulmalıdır. Ağaç serveti ve artım envanteri yapılırken, söz konusu ilave değişkenler de örnek alanlarda ölçülerek karnenin arkasına işlenmeli ve her noktadan toprak örnekleri toplanmalıdır. Böylece erozyonu önleme fonksiyonu orman amenajman planlarına entegre edilebileceği gibi, Türkiye için büyük bir eksiklik olarak görülen yetişme ortamı haritalarının hazırlanması için de çok önemli bir altlık oluşacaktır. Şefliklerin orman amenajman planları yenilendikçe, bu altlıklar da zaman içerisinde kendiliğinden ülke sathına yayılacaktır.
- Toprak erozyonuna karşı daha dirençli bir orman yapısı kurmak için, mümkün olan yerlerde değişik yaşlı seçme kuruluşlar tercih edilmelidir. Bu mümkün değilse aynı yaşlı, saf ibreli, çok katlı ve sık meşcereler kurulmalıdır. Hangi orman formu olursa olsun, "doğaya yakın" anlayışla işletmecilik yapılmalı ve

tepe tacı kapalılığı olabildiğince yüksek tutulmalıdır. Erozyonu önleme fonksiyonu görecek sahalarda ormana bakım patikaları açılmamalıdır.

- Erozyonla mücadelede her PB'nin koşulları ve ihtiyaçları farklıdır. Örneğin; Veliköy PB'nde erozyonu önleme fonksiyonuna ayrılan ormanlarda faydalanmanın kısıtlanması gerekirken; Olur PB'ndeki OT sahaları, boşluklu ve gevşek kapalı ormanların ağaçlandırma ya da rehabilitasyon faaliyetleri ile "normal kapalı (>%10)" hale dönüştürülmeleri gerekmektedir. Olur'da gerçekleştirilmesi gereken faaliyetlere kumlu toprağa sahip sahalardan başlanmalıdır. Çünkü yapılan toprak analizlerinde bu sahaların erozyona karşı daha hassas oldukları tespit edilmiştir.
- Daha önce değinildiği gibi, erozyonu önleme fonksiyonu için optimal orman kuruluşları belirlenmiş, ancak optimale ulaşmak için meşcerelere ne zaman ve ne tür silvikültürel müdahalelerde bulunulması gerektiği kararlaştırılmamıştır. Türkiye'de üretim fonksiyonlu ormanlarda toprak kaybını minimize etmek için yapılacak bakım ve gençleştirme faaliyetlerinin zaman−mekan düzeni ve şiddeti muğlaklığını korumaktadır. Orman amenajmanında, özellikle silvikültür alanında bu konu üzerine yapılacak araştırma sonuçlarına büyük ihtiyaç duyulmaktadır.
- Bu tez çalışmasında somutlaşan entegrasyon stratejisinin ülke sathında yaygınlaştırılması için farklı ekolojik koşullara sahip PB'lerinde de pilot uygulamalar gerçekleştirilmelidir. Burada tez kapsamında geliştirilen model ve göstergelerin başarı düzeyleri ölçülmeli ve gerekli görüldüğü takdirde kalibre edilerek diğer işletmelerin yenilenen orman amenajman planlarına entegrasyonu idare tarafından sağlanmalıdır.

Sonuç olarak bu çalışmayla, Türkiye ormancılığında gerçek anlamda Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Planlama (ETFOP)'ya bir adım daha yaklaşmak için erozyonu önleme fonksiyonu özelinde detaylı çıktılar üretilmiş ve bu konudaki bilimsel bilgi açığı büyük ölçüde kapatılmıştır. Böylece, orman amenajman planları hazırlanırken odun üretimi yanı sıra toprak koruma gibi orman ekosisteminin düzenleyici hizmetlerini de dikkate alan, daha bütüncül ve isabetli kararlar verilebilecektir. Aynı zamanda bu çalışmada sunulan sayısal verilerin birçoğu, günümüzde kısmen geliştirilmiş olan ve gelecekte yaygınlaşması beklenen planlama model yazılımlarında

da (karar destek sistemleri) altlık olarak kullanılabilecektir. Ancak unutulmamalıdır ki; ormanların toprak koruma hizmeti dışında birçok ekolojik ve sosyokültürel fonksiyonları/değerleri de bulunmaktadır. Tüm bu değerlerin en kısa sürede sayısallaştırılarak orman planlama sistemine entegre edilmesi, ülkemizdeki sürdürülebilir orman yönetimi ve ETFOP için kaçınılmaz bir görev olarak karşımızda durmaktadır.

EKLER

Ek 1. Şavşat ve Olur Meteoroloji İstasyonlarında gözlenen aylık ort. sıcaklıklar (°C)

Ek 2. Özel olarak tasarlanmış envanter karnesi

Ek 3. Şavşat Meteoroloji İstasyonu için aylık yağış miktarları (mm) ve R-faktörü değerleri

Ek 4. Olur Meteoroloji İstasyonu için aylık yağış miktarları (mm) ve R-faktörü değerleri

Ek 5. Veliköy PB toprak analizi sonuçları ve K-faktörü değerleri

Ek 6. Olur PB toprak analizi sonuçları ve K-faktörü değerleri

Ek 7. Veliköy PB'ne ait NDVI ve sahada ölçülen C-faktörü değerleri

Ek 8. Olur PB'ne ait NDVI ve sahada ölçülen C-faktörü değerleri

Ek 9. Veliköy PB'nde meşcere tipleri itibariyle tahmin edilen C-faktör değerleri

Ek 10. Olur PB'nde meşcere tipleri itibariyle tahmin edilen C-faktör değerleri

Ek 11. Veliköy PB'nde meşcere tipleri itibariyle hesaplanan TKPİ'leri

Ek 12. Olur PB'nde meşcere tipleri itibariyle hesaplanan TKPİ'leri

Ek 13. Veliköy PB'ndeki tüm değişkenler arasındaki ilişkileri gösteren korelasyon matrisi

Ek 14. Olur PB'ndeki tüm değişkenler arasındaki ilişkileri gösteren korelasyon matrisi

Ek 15. Erozyonu önleme fonksiyonuna ait göstergelerin Sarıçam hasılat tablosuna (Batu, 1971) entegrasyonu

Ek 16. Veliköy PB'nin meşcere haritasıyla çakıştırılmış erozyon risk haritası

Ek 17. Olur PB'nin meşcere haritasıyla çakıştırılmış erozyon risk haritası

Ek 1. Şavşat ve Olur Meteoroloji İstasyonlarında gözlenen aylık ort. sıcaklıklar (°C)

İstasyon	Yıl/Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Şavşat Meteoroloji İstasyonu	1965	-1,7	-1,1	4,7	6,9	14,8	18,0	19,8	21,2	17,2	8,0	5,1	2,5
	1966	5,0	4,8	6,2	11,4	14,1	17,5	22,2	22,2	16,9	14,3	11,4	3,8
	1967	-4,1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	1972	-5,9	-1,9	3,3	12,0	13,6	17,9	22,3	22,5	17,7	14,1	4,9	-1,8
	1973	-3,8	1,6	3,0	8,8	15,0	15,6	20,3	19,7	17,6	13,1	1,4	-1,6
	1974	-3,8	0,6	6,1	5,9	15,2	18,7	19,8	20,0	15,8	17,1	6,8	1,5
	1975	-1,5	-1,8	3,2	13,4	14,8	20,0	21,9	21,7	17,2	10,6	5,3	-1,7
	1976	-2,7	-3,6	3,9	9,4	13,8	17,4	19,3	20,5	16,7	11,6	7,5	1,0
	1977	-2,6	0,0	–	10,8	14,4	12,0	19,5	20,6	17,2	7,6	6,2	-1,1
	1978	0,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	1979	0,1	2,1	6,1	10,3	15,9	17,4	19,1	23,0	19,5	11,5	7,9	-0,2
	1980	-2,8	-0,2	4,4	9,0	14,7	19,2	22,8	20,1	15,8	10,6	6,0	2,6
	1981	1,3	1,8	5,2	7,3	11,9	17,9	21,9	20,6	18,3	14,3	4,6	4,0
	1982	-1,9	-2,2	2,3	10,6	14,8	17,4	19,1	19,6	17,1	10,7	3,8	-1,3
	1983	-5,0	-0,7	2,7	10,7	14,4	17,0	21,3	19,3	16,2	10,5	5,9	1,8
	1984	-5,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	1985	1,2	-3,5	1,6	11,0	16,8	19,6	19,2	23,9	16,7	10,7	7,0	-0,8
	1986	-0,3	1,4	5,6	12,8	12,0	18,2	22,0	23,7	19,8	12,6	4,3	-0,8
	1987	0,1	1,5	1,2	6,9	15,9	17,2	21,0	19,6	15,7	10,9	5,5	0,6
	1988	-2,5	0,5	3,6	10,5	13,2	17,0	20,5	20,2	15,9	12,2	3,1	1,5
	1989	-4,1	-3,0	6,7	13,8	15,1	18,5	20,5	23,3	17,7	11,7	6,5	-1,0
	1990	-3,0	0,4	4,8	8,7	14,2	18,6	20,9	20,2	17,8	11,8	6,8	2,1
	1991	-1,3	-0,6	5,1	11,6	13,2	18,7	21,5	21,2	17,7	15,1	7,1	-0,6
	1992	-4,8	-4,5	2,4	8,1	13,3	17,4	19,9	21,2	16,0	11,8	4,5	-1,2
	1993	-3,5	-2,6	3,1	8,1	14,8	17,1	20,6	21,2	18,0	13,3	2,4	1,5
	1994	1,8	-0,5	4,5	13,4	15,1	17,6	21,2	20,2	21,2	15,5	5,5	-2,6
	1995	0,6	3,0	6,7	9,7	16,5	19,4	20,6	21,4	18,3	10,8	5,3	-0,4
	1996	0,9	2,8	4,8	9,3	17,3	17,0	22,9	22,8	16,9	12,5	–	–
	2012	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	14,5	2,0
	2013	–	3,9	4,5	10,2	15,9	17,3	18,9	20,1	15,2	9,2	7,3	-4,2
	2014	-0,4	1,9	6,0	10,6	14,2	17,6	21,5	22,2	16,8	11,4	3,8	2,1
	2015	-0,4	2,4	5,4	6,7	13,1	18,1	20,6	21,9	19,9	11,2	4,2	-1,2
	2016	-2,9	2,5	5,1	10,6	13,0	16,9	20,0	22,4	14,2	10,5	3,3	-4,0
	2017	-2,7	-1,7	4,7	8,7	13,2	17,6	21,8	23,2	19,5	9,8	4,6	0,6
	2018	0,5	3,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Olur Meteoroloji İstasyonu	1990	-5,0	-1,0	3,2	5,5	13,5	18,1	22,5	17,0	19,6	14,3	4,9	0,7
	1994	0,5	-3,1	4,2	12,4	14,7	18,6	22,2	21,1	17,8	12,4	5,2	-5,9
	1998	-2,0	1,4	2,8	10,9	15,0	19,9	23,3	23,3	18,3	11,9	7,8	2,7
	1999	-3,6	-2,1	4,3	10,0	14,0	18,6	21,7	23,4	18,4	10,8	3,6	1,7
	2000	0,7	1,7	0,7	12,2	13,9	18,4	26,4	23,3	19,7	11,6	6,2	0,8
	2001	-3,6	0,8	8,2	11,0	12,9	19,6	23,2	23,9	19,8	13,4	4,3	1,1
	2002	-0,4	-0,8	5,9	8,0	13,7	17,9	21,7	21,0	17,7	13,6	7,0	-4,5
	2003	-3,1	-0,4	0,6	9,1	16,4	18,5	21,7	22,8	19,6	13,1	4,1	0,1
	2004	-0,2	-1,9	5,1	8,4	13,1	17,8	22,1	23,8	16,2	11,0	5,2	-4,0
	2005	-0,8	1,3	5,1	10,8	14,4	17,6	23,2	23,0	16,0	10,2	5,5	1,1
	2013	-3,2	1,6	6,1	11,1	14,8	18,3	23,0	4,7	17,8	11,8	7,7	-4,6
	2014	-3,3	2,8	5,2	7,9	13,4	18,7	22,7	24,2	21,3	11,7	4,6	2,5
	2015	-0,9	-2,9	5,2	10,8	13,4	17,5	21,3	23,4	15,3	11,8	4,3	-2,2
	2016	-1,1	3,6	4,7	9,0	13,6	18,4	23,4	23,5	21,5	10,6	3,8	-4,8
	2017	-2,8	–	–	–	–	–	–	25,1	–	–	5,1	2,5
	2018	-3,9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Ek 2. Özel olarak tasarlanmış envanter karnesi (standart ön yüz)

ÖRNEK ALAN ENVANTER KARNESİ

Ek 5

| | | |

Ek 2. Özel olarak tasarlanmış envanter karnesi (yeni arka yüz)

ÖRNEK ALAN ENVANTER KARNESİ			
Mikrohavza Adı		Toprak Örneği No.	
Örnek Alan (ÖA) No.		Koordinatlar X	
ÖA Büyüklüğü (m2)		Y	
1. ORMAN		**4. DİĞER BİLGİLER**	
Meşcere Tipi			
Meşcere göğüs yüzeyi (m2/ha)			
Meşcere orta boyu (m)			
Kapalılık (%)			
Ölü örtü kalınlığı (cm)			
Diri örtü yüksekliği (m)			
Diri örtü örtme derecesi (%)			
Açığa çıkmış kökler (var/yok)			
Diri örtü dip kütük çapı (cm)			
Orman formu;			
1 - Aynı yaşlı maktalı			
2 - Değişik yaşlı seçme			
Gençlik durumu (var/yok)			
Tabakalılık (1/2/2+)			
Teknik müdahale;			
1 - Gençlik bakımı görmüş			
2 - Aralama görmüş			
3 - Gençleştirme devam ediyor			
2. TOPRAK			
Taşlılık (%)			
Toprak nemi;			
1 - Pek kuru			
2 - Kuru			
3 - Serin			
4 - Nemli			
5 - Yaş-cıvık			
Gözlenen erozyon tipi;			
1 - Yüzey erozyonu			
2 - Oluk erozyonu (cm)			
3 - Oyuntu erozyonu (cm)			
4 - Heyelan alanı (m2)			
5 - Moloz/çamur akması (m)			
3. TOPOGRAFYA			
Eğim (%)			
Yamaç uzunluğu (m)			
Pürüzlülük (cm)			
Yamaç tipi;			
1 - Tepe-sırt		İsim-Soyisim	
2 - Üst yamaç			
3 - Orta yamaç		Tarih	
4 - Alt yamaç			
5 - Taban-düzlük		İmza	
6 - Çukurluk			

Ek 3. Şavşat Meteoroloji İstasyonu için aylık yağış miktarları (mm) ve R-faktörü değerleri

Yıl/Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Toplam
1965	30,6	64,5	48,9	91,6	48,4	78,5	33,1	12,8	45,1	110,2	47,9	53,5	665,1
1966	30,3	17,3	41,9	79,6	79,4	80,2	25,7	34,1	49,3	3,3	2,0	25,6	468,7
1972	27,8	11,8	45,4	75,2	83,5	88,6	47,9	53,2	69,8	62,0	74,8	72,8	712,8
1973	47,0	95,6	53,9	71,7	60,0	130,9	31,6	5,2	11,2	39,1	106,4	67,9	720,5
1974	21,0	9,6	24,2	114,4	63,7	73,3	20,5	53,7	98,9	3,3	41,3	53,2	577,1
1975	32,1	88,5	90,9	47,4	92,3	87,9	27,8	6,3	16,9	59,9	53,9	97,9	701,8
1976	107,7	36,9	33,6	61,2	33,7	72,9	38,2	0,0	61,1	47,9	28,6	–	–
1977	20,4	–	–	46,3	85,5	–	39,0	20,8	49,4	85,1	34,6	39,2	–
1979	39,9	71,0	23,9	60,9	87,4	105,5	71,4	32,2	7,6	58,3	63,9	89,8	711,8
1980	43,0	6,1	63,0	55,9	50,0	27,0	20,1	57,9	19,2	46,1	87,8	41,3	517,4
1981	17,0	60,9	55,9	57,1	84,4	105,5	62,2	21,5	34,8	22,8	76,3	23,2	621,6
1982	62,7	23,7	37,4	81,0	125,4	47,5	56,3	25,7	59,5	32,4	32,3	27,0	610,9
1983	49,9	11,7	71,1	26,4	98,8	72,5	30,0	12,1	64,6	76,1	58,3	82,7	654,2
1985	36,9	149,2	25,6	72,5	61,2	17,1	30,1	10,8	30,2	61,2	33,7	108,8	637,3
1986	61,9	50,9	8,0	81,6	110,0	84,3	25,2	18,2	32,7	41,8	52,6	59,5	626,4
1987	138	56,4	44,2	106,1	35,9	132,3	58,1	55,2	22,4	42,5	41,2	120,7	853,0
1988	127,3	18,6	58,1	24,4	85,9	126,9	106,4	40,2	14,0	74,9	73,6	31,4	781,7
1989	83,0	30,3	23,1	64,2	54,6	65,9	41,6	2,5	8,0	53,6	66,9	37,7	531,4
1990	50,3	46,2	13,6	93,4	44,2	61,5	67,5	31,0	39,0	49,4	88,4	56,6	641,1
1991	43,5	14,1	25,4	21,1	75,9	84,2	74,4	35,2	13,3	28,0	30,4	44,5	490,0
1992	32,5	45,3	11,1	63,7	49,1	129,4	45,4	28,0	56,1	62,1	72,0	23,5	618,2
1993	63,0	16,2	19,1	93,7	32,3	85,0	5,4	57,2	20,7	9,2	71,0	42,4	515,2
1994	33,0	52,8	30,0	18,8	52,2	53,9	49,5	62,8	22,8	60,7	32,5	66,0	535,0
1995	12,8	10,1	30,8	50,1	52,8	79,3	88,3	40,2	37,5	62,1	41,1	11,7	516,8
1996	5,1	15,7	10,9	28,8	47,0	71,8	26,2	12,7	49,7	–	–	–	–
2012	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3,1	34,0	–
2013	–	20,1	72,5	62,0	69,7	108,4	22,0	25,9	35,8	46,1	13,4	37,7	–
2014	32,8	26,9	41,1	71,9	116,2	58,1	95,6	121,8	50,4	33,6	43,6	32,0	724,0
2015	25,6	15,4	22,3	86,2	111,7	85,8	9,0	101,5	15,6	96,2	132	29,3	730,6
2016	68,3	14,4	63,3	42,3	90,5	150,5	48	20,1	115,4	23,2	35,1	55,4	726,5
2017	26,4	7,2	28,8	46,2	95,7	67,9	7,3	0,0	55,5	94,3	66,0	84,5	579,8
2018	39,1	43,1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Ortalama	47,0	37,7	38,6	63,2	72,6	83,9	43,5	33,3	40,2	51,2	53,5	53,4	633,4
R-faktörü	9,4	4,8	5,2	22,8	34,5	53,2	7,4	3,3	5,9	12,1	13,8	13,7	**186,1**

Ek 4. Olur Meteoroloji İstasyonu için aylık yağış miktarları (mm) ve R-faktörü değerleri

Yıl/Ay	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**Toplam**
1990	22,6	39,4	0,0	83,6	47,6	32,1	79,6	12,8	2,5	21,6	72,5	33,0	447,3
1994	16,0	16,1	32,7	35,7	61,0	36,9	47,8	15,9	26,1	11,5	17,6	42,6	359,9
1998	22,8	11,4	57,9	44,7	99,5	111,3	22,9	9,0	8,7	13,2	38,2	47,7	487,3
1999	2,3	20,2	44,5	53,6	48,2	77,2	134,4	12,3	45,3	18,3	29,3	7,2	492,8
2000	32,7	16,1	20,0	18,0	31,7	27,6	6,4	14,6	27,1	47,3	2,2	32,2	275,9
2001	2,9	8,1	35,5	51,4	65,1	14,4	107,0	9,6	6,2	15,7	9,9	29,3	355,1
2002	27,8	16,2	54,7	72,6	36,7	113,5	104,5	41,0	20,0	52,8	24,3	–	564,1
2003	13,4	14,4	25,6	86,5	52,1	16,0	115,5	30,4	37,7	105,0	54,2	16,4	567,2
2004	10,9	29,0	41,0	52,2	86,8	66,5	0,0	10,6	11,4	28,4	27,2	14,5	378,5
2005	25,5	19,5	40,6	98,1	68,0	83,2	57,3	68,9	–	77,5	26,3	48,2	613,1
2013	–	–	–	–	–	–	–	0,0	0,2	16,3	0,7	0,0	–
2014	9,1	8,2	9,4	22,4	46,5	46,7	50,2	40,0	65,0	30,7	13,3	17,9	359,4
2015	25,3	15,6	15,9	58,3	42,3	76,8	3,6	63,2	29,8	56,9	80,6	9,3	477,6
2016	18,1	3,1	24,8	29,1	58,7	79,8	29,3	28,9	32,3	4,4	17,6	25,9	352,0
2017	13,8	5,5	10,6	30,3	65,3	55,4	0,0	0,0	3,4	52,8	34,5	21,1	292,7
2018	15,9	12,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Ortalama	17,3	15,7	29,5	52,6	57,8	59,8	54,2	23,8	22,6	36,8	29,9	24,7	430,2
R-faktörü	0,8	0,6	4,1	23,4	31,1	34,4	25,6	2,2	1,9	8,0	4,3	2,4	**139,0**

Ek 5. Veliköy PB toprak analizi sonuçları ve K-faktörü değerleri

Örnek alan no.	USDA* toprak taksonomi sisteminde Tekstür bileşenleri (%)				Organik madde içeriği (%)	K-faktörü (t ha s ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1})
	Kum	Kil	Toz	Toprak türü		
26	60,07	15,69	24,24	Kumlu Balçık	5,07	0,0392
37	61,10	17,95	20,95	Kumlu Balçık	4,81	0,0367
38	47,91	18,12	33,97	Balçık	1,85	0,0415
44	42,97	16,73	40,29	Balçık	5,31	0,0450
52	57,81	13,50	28,68	Kumlu Balçık	9,40	0,0422
59	48,53	20,11	31,36	Balçık	7,86	0,0393
63	73,47	1,88	24,65	Balçıklı Kum	8,77	0,0475
97	58,04	11,80	30,16	Kumlu Balçık	10,17	0,0439
117	70,17	6,56	23,28	Kumlu Balçık	6,20	0,0441
129	57,60	16,99	25,41	Kumlu Balçık	8,51	0,0388
149	70,31	8,07	21,63	Kumlu Balçık	8,10	0,0423
293	49,89	22,59	27,53	Kumlu Killi Balçık	3,22	0,0366
393	65,76	10,04	24,20	Kumlu Balçık	4,12	0,0424
460	59,13	9,04	31,83	Kumlu Balçık	4,18	0,0467
624	54,29	12,50	33,21	Kumlu Balçık	6,95	0,0448
681	39,82	24,84	35,34	Balçık	6,41	0,0380
716	59,43	6,57	33,99	Kumlu Balçık	7,61	0,0496
736	51,63	12,58	35,80	Balçık	8,41	0,0459
770	69,28	3,60	27,12	Kumlu Balçık	8,27	0,0480
809	58,79	10,11	31,10	Kumlu Balçık	6,12	0,0456
867	70,49	5,75	23,76	Kumlu Balçık	10,49	0,0448
875	63,61	14,19	22,20	Kumlu Balçık	7,37	0,0390
876	75,36	6,61	18,04	Kumlu Balçık	7,00	0,0414
1020	63,03	9,27	27,70	Kumlu Balçık	8,10	0,0444
1102	69,16	7,68	23,16	Kumlu Balçık	7,44	0,0433
1198	70,91	4,12	24,97	Kumlu Balçık	5,96	0,0466
1201	71,87	2,43	25,70	Kumlu Balçık	7,53	0,0480
1210	61,37	3,48	35,16	Kumlu Balçık	10,42	0,0525
1214	82,66	1,82	15,52	Balçıklı Kum	9,02	0,0423
1246	51,50	11,62	36,89	Balçık	8,95	0,0471
1262	54,82	11,69	33,49	Kumlu Balçık	8,34	0,0450
1268	63,77	7,27	28,96	Kumlu Balçık	7,79	0,0465
1509	66,95	4,05	29,00	Kumlu Balçık	7,97	0,0488
1512	67,04	7,57	25,38	Kumlu Balçık	4,35	0,0445
1518	79,57	1,42	19,01	Balçıklı Kum	8,10	0,0444
1520	77,56	3,43	19,00	Balçıklı Kum	4,15	0,0438
1532	70,63	4,39	24,98	Kumlu Balçık	0,81	0,0463
1533	43,52	19,96	36,53	Balçık	6,47	0,0412

* USDA: ABD Tarım Bakanlığı ve Ulusal Kooperatif Toprak Araştırması.

Ek 5. Veliköy PB toprak analizi sonuçları ve K-faktörü değerleri (devam)

Örnek alan no.	USDA* toprak taksonomi sisteminde Tekstür bileşenleri (%)				Organik madde içeriği (%)	K-faktörü (t ha s ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1})
	Kum	Kil	Toz	Toprak türü		
1535	56,64	11,31	32,06	Kumlu Balçık	8,60	0,0501
1538	42,15	24,19	33,66	Balçık	6,89	0,0378
1545	71,22	1,56	27,22	Balçıklı Kum	10,37	0,0488
1549	61,97	7,85	30,19	Kumlu Balçık	8,09	0,0467
1561	66,77	3,99	29,24	Kumlu Balçık	8,75	0,0489
1583	47,00	9,78	43,22	Balçık	8,44	0,0517
1593	69,12	9,79	21,09	Kumlu Balçık	6,12	0,0411
1637	51,54	9,36	39,09	Balçık	5,02	0,0499
1642	78,41	3,99	17,60	Balçıklı Kum	5,98	0,0444
1648	55,68	9,76	34,55	Kumlu Balçık	4,91	0,0474
1662	54,52	20,88	24,60	Kumlu Killi Balçık	10,75	0,0363
1680	84,54	2,16	13,30	Balçıklı Kum	4,63	0,0413
1698	68,40	8,49	23,11	Kumlu Balçık	3,20	0,0427
1699	47,48	24,30	28,22	Balçık	7,78	0,0359
1704	57,30	19,71	22,98	Kumlu Balçık	6,93	0,0363
1705	60,62	6,13	33,26	Kumlu Balçık	7,86	0,0495
1708	58,46	8,60	32,93	Kumlu Balçık	8,21	0,0474
1717	66,19	3,82	29,99	Kumlu Balçık	8,16	0,0494
1721	69,84	2,70	27,46	Kumlu Balçık	7,91	0,0486
1723	54,05	10,72	35,24	Kumlu Balçık	6,95	0,0468
1731	62,16	9,90	27,95	Kumlu Balçık	5,86	0,0440
1737	54,22	23,42	22,35	Kumlu Killi Balçık	8,92	0,0343
1741	82,51	1,01	16,47	Balçıklı Kum	3,25	0,0436
1744	39,16	18,29	42,55	Balçık	6,67	0,0444
1746	60,26	18,27	21,47	Kumlu Balçık	6,80	0,0364
1747	55,37	12,55	32,08	Kumlu Balçık	2,79	0,0441
1749	51,76	21,25	27,00	Kumlu Killi Balçık	1,54	0,0369
1763	78,21	5,29	16,50	Balçıklı Kum	8,39	0,0412
1767	79,12	1,89	18,99	Balçıklı Kum	6,90	0,0444
1773	70,98	7,42	21,60	Kumlu Balçık	4,47	0,0429
1798	61,98	6,08	31,93	Kumlu Balçık	6,30	0,0490
1803	69,36	5,03	25,61	Kumlu Balçık	8,49	0,0465
1814	64,38	4,87	30,76	Kumlu Balçık	9,93	0,0494
1825	62,32	8,71	28,97	Kumlu Balçık	4,75	0,0457
1829	58,05	5,66	36,29	Kumlu Balçık	1,84	0,0520
1831	74,64	3,24	22,12	Balçıklı Kum	10,60	0,0457
1832	42,68	19,05	38,27	Balçık	6,87	0,0426
1833	59,53	8,14	32,33	Kumlu Balçık	6,87	0,0478

* USDA: ABD Tarım Bakanlığı ve Ulusal Kooperatif Toprak Araştırması.

Ek 5. Veliköy PB toprak analizi sonuçları ve K-faktörü değerleri (devam)

Örnek alan no.	USDA* toprak taksonomi sisteminde Tekstür bileşenleri (%)				Organik madde içeriği (%)	K-faktörü (t ha s ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1})
	Kum	Kil	Toz	Toprak türü		
1835	53,82	7,80	38,39	Kumlu Balçık	8,33	0,0512
1838	68,56	3,16	28,28	Kumlu Balçık	10,36	0,0492
1839	61,62	7,92	30,46	Kumlu Balçık	8,02	0,0469
1854	72,69	3,34	23,97	Balçıklı Kum	3,73	0,0468
1871	68,39	5,52	26,10	Kumlu Balçık	7,33	0,0490
1872	81,82	1,88	16,29	Balçıklı Kum	8,86	0,0433
1880	73,89	3,47	22,64	Balçıklı Kum	8,54	0,0459
1882	72,17	5,15	22,68	Kumlu Balçık	7,52	0,0450
1887	64,36	2,94	32,69	Kumlu Balçık	7,44	0,0520
1893	51,59	3,61	44,80	Kumlu Balçık	7,02	0,0584
1895	63,40	15,54	21,07	Kumlu Balçık	7,04	0,0379
2001	54,00	20,45	25,56	Kumlu Killi Balçık	7,14	0,0371
2002	66,52	5,48	28,00	Kumlu Balçık	6,80	0,0474
2005	79,18	7,41	13,41	Balçıklı Kum	2,53	0,0390
2008	63,79	13,73	22,48	Kumlu Balçık	9,21	0,0395
2012	78,42	9,18	12,40	Kumlu Balçık	7,06	0,0376
2013	73,23	11,72	15,05	Kumlu Balçık	7,60	0,0375
2014	48,83	19,11	32,06	Balçık	5,85	0,0400
2015	70,07	10,80	19,12	Kumlu Balçık	9,43	0,0398
2016	42,42	21,86	35,71	Balçık	6,46	0,0399
2017	72,35	8,52	19,13	Kumlu Balçık	9,26	0,0410
2018	74,59	3,13	22,28	Balçıklı Kum	8,92	0,0458
2019	62,50	2,78	34,72	Kumlu Balçık	7,76	0,0530
3001	73,47	8,93	17,59	Kumlu Balçık	4,35	0,0400
10001	68,68	13,24	18,08	Kumlu Balçık	7,97	0,0379
10002	47,12	14,49	38,39	Balçık	7,55	0,0457
10003	73,52	10,11	16,37	Kumlu Balçık	8,70	0,0387
10004	59,59	21,24	19,16	Kumlu Killi Balçık	8,03	0,0345
10005	47,96	9,47	42,58	Balçık	5,29	0,0519
10008	69,81	13,52	16,67	Kumlu Balçık	8,20	0,0373
10009	48,52	26,94	24,54	Kumlu Killi Balçık	7,34	0,0337
10010	64,99	7,73	27,28	Kumlu Balçık	5,75	0,0455

* USDA: ABD Tarım Bakanlığı ve Ulusal Kooperatif Toprak Araştırması.

Ek 6. Olur PB toprak analizi sonuçları ve K-faktörü değerleri

Örnek alan no.	USDA* toprak taksonomi sisteminde Tekstür bileşenleri (%)				Organik madde içeriği (%)	K-faktörü (t ha s ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1})
	Kum	Kil	Toz	Toprak türü		
10	45,67	13,53	40,80	Balçık	6,08	0,0473
22	53,39	11,87	34,74	Kumlu Balçık	7,83	0,0458
73	58,82	11,91	29,27	Kumlu Balçık	8,84	0,0433
78	61,06	8,98	29,96	Kumlu Balçık	6,22	0,0456
85	57,33	15,45	27,22	Kumlu Balçık	9,51	0,0402
86	57,96	14,54	27,50	Kumlu Balçık	6,41	0,0408
104	55,18	19,71	25,11	Kumlu Balçık	6,96	0,0371
105	70,37	14,77	14,86	Kumlu Balçık	7,09	0,0357
134	57,49	9,03	33,47	Kumlu Balçık	6,90	0,0473
137	63,65	11,38	24,97	Kumlu Balçık	7,93	0,0418
142	54,24	22,44	23,33	Kumlu Killi Balçık	9,63	0,0351
144	65,32	14,10	20,58	Kumlu Balçık	7,39	0,0383
161	62,60	16,21	21,19	Kumlu Balçık	6,16	0,0375
169	68,95	9,41	21,63	Kumlu Balçık	6,55	0,0415
194	46,66	25,82	27,52	Kumlu Killi Balçık	6,22	0,0350
198	45,49	17,55	36,96	Balçık	4,17	0,0429
205	61,46	18,26	20,28	Kumlu Balçık	5,86	0,0361
222	66,47	12,14	21,40	Kumlu Balçık	8,03	0,0397
232	53,38	19,69	26,93	Kumlu Balçık	4,17	0,0378
238	72,38	9,74	17,88	Kumlu Balçık	6,44	0,0396
243	74,93	8,22	16,85	Kumlu Balçık	8,90	0,0398
256	71,31	10,31	18,39	Kumlu Balçık	8,33	0,0394
258	73,69	11,96	14,35	Kumlu Balçık	5,18	0,0368
259	53,63	11,53	34,84	Kumlu Balçık	9,98	0,0460
277	61,85	9,01	29,14	Kumlu Balçık	8,05	0,0451
278	42,98	31,67	25,36	Killi Balçık	8,23	0,0317
280	63,65	9,94	26,41	Kumlu Balçık	9,67	0,0432
282	59,28	15,79	24,94	Kumlu Balçık	9,75	0,0390
287	65,42	12,01	22,57	Kumlu Balçık	6,26	0,0403
321	48,33	27,48	24,18	Kumlu Killi Balçık	4,19	0,0331
414	74,57	5,97	19,46	Kumlu Balçık	6,99	0,0424
476	43,38	24,56	32,07	Balçık	8,18	0,0370
483	71,05	9,60	19,35	Kumlu Balçık	3,69	0,0403
493	69,09	6,83	24,08	Kumlu Balçık	5,23	0,0443
499	65,02	9,54	25,44	Kumlu Balçık	9,05	0,0431
510	53,09	14,30	32,61	Kumlu Balçık	6,04	0,0432
512	65,09	11,66	23,25	Kumlu Balçık	7,95	0,0408
522	65,35	13,54	21,11	Kumlu Balçık	6,28	0,0388

* USDA: ABD Tarım Bakanlığı ve Ulusal Kooperatif Toprak Araştırması.

Ek 6. Olur PB toprak analizi sonuçları ve K-faktörü değerleri (devam)

Örnek alan no.	USDA* toprak taksonomi sisteminde Tekstür bileşenleri (%)				Organik madde içeriği (%)	K-faktörü (t ha s ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1})
	Kum	Kil	Toz	Toprak türü		
523	66,30	4,95	28,75	Kumlu Balçık	6,33	0,0479
526	65,15	8,94	25,92	Kumlu Balçık	7,73	0,0437
536	67,72	7,03	25,25	Kumlu Balçık	8,81	0,0446
562	71,48	5,95	22,58	Kumlu Balçık	6,49	0,0439
567	67,32	5,95	26,72	Kumlu Balçık	5,87	0,0460
1001	73,37	5,79	20,83	Kumlu Balçık	6,50	0,0431
1002	71,50	9,74	18,75	Kumlu Balçık	6,94	0,0396
1003	57,82	16,73	25,45	Kumlu Balçık	4,33	0,0385
1004	75,43	10,89	13,68	Kumlu Balçık	9,31	0,0368
1005	43,33	23,99	32,67	Balçık	2,65	0,0372
1006	51,09	28,39	20,52	Kumlu Killi Balçık	2,56	0,0315
1007	60,00	12,94	27,06	Kumlu Balçık	4,80	0,0414
1008	57,15	13,89	28,95	Kumlu Balçık	3,25	0,0416
1009	63,79	8,53	27,68	Kumlu Balçık	1,30	0,0446
1010	53,05	14,01	32,94	Kumlu Balçık	5,69	0,0433
1011	51,24	19,16	29,59	Balçık	4,86	0,0388
1012	54,28	19,21	26,51	Kumlu Balçık	3,86	0,0377
1013	57,66	19,59	22,75	Kumlu Balçık	4,11	0,0361
1014	50,96	21,84	27,20	Kumlu Killi Balçık	3,11	0,0365
1015	38,43	28,87	32,70	Killi Balçık	2,95	0,0349
1016	58,14	10,87	30,99	Kumlu Balçık	3,81	0,0446
1017	58,46	20,87	20,68	Kumlu Killi Balçık	2,89	0,0348
1018	83,36	4,79	11,86	Balçıklı Kum	1,69	0,0392
1019	61,46	14,47	24,07	Kumlu Balçık	6,55	0,0395
1020	62,05	17,34	20,61	Kumlu Balçık	6,07	0,0366
1021	57,28	15,53	27,20	Kumlu Balçık	2,59	0,0402
1022	56,74	13,64	29,62	Kumlu Balçık	2,64	0,0423
1023	54,39	23,04	22,57	Kumlu Killi Balçık	1,44	0,0346
1024	84,40	3,60	11,99	Balçıklı Kum	1,46	0,0400
1026	76,33	5,72	17,95	Balçıklı Kum	2,65	0,0418
1027	73,20	6,50	20,31	Kumlu Balçık	0,56	0,0426
1029	71,02	10,77	18,21	Kumlu Balçık	3,88	0,0391
1031	69,10	8,70	22,21	Kumlu Balçık	4,77	0,0421
1032	79,32	3,81	16,88	Balçıklı Kum	0,81	0,0426
1034	67,46	17,18	15,36	Kumlu Balçık	7,65	0,0348
1035	52,12	14,85	33,04	Kumlu Balçık	3,66	0,0431
1036	72,13	4,70	23,18	Kumlu Balçık	6,31	0,0451
1037	70,00	10,99	19,01	Kumlu Balçık	9,81	0,0394

* USDA: ABD Tarım Bakanlığı ve Ulusal Kooperatif Toprak Araştırması.

Ek 6. Olur PB toprak analizi sonuçları ve K-faktörü değerleri (devam)

Örnek alan no.	USDA* toprak taksonomi sisteminde Tekstür bileşenleri (%)				Organik madde içeriği (%)	K-faktörü (t ha s ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1})
	Kum	Kil	Toz	Toprak türü		
1038	59,50	9,81	30,69	Kumlu Balçık	6,13	0,0454
1039	63,85	10,37	25,78	Kumlu Balçık	8,09	0,0427
1040	65,89	11,61	22,50	Kumlu Balçık	6,15	0,0405
1041	53,75	20,89	25,36	Kumlu Killi Balçık	5,01	0,0366
1044	77,75	4,89	17,36	Balçıklı Kum	1,50	0,0421

* USDA: ABD Tarım Bakanlığı ve Ulusal Kooperatif Toprak Araştırması.

Ek 7. Veliköy PB'ne ait NDVI ve sahada ölçülen C-faktörü değerleri

Örnek alan no.	AKAÖ	Ort. NDVI	C-faktörü	Örnek alan no.	AKAÖ	Ort. NDVI	C-faktörü
26	Orman	0,658	0,001	**10002**	Ziraat	0,462	0,16
37	Orman	0,651	0,001	**10003**	Ziraat	0,581	0,09
63	Orman	0,669	0,0011	**10004**	Ziraat	0,551	0,05
293	Orman	0,815	0,00075	**10005**	Ziraat	0,678	0,035
681	Orman	0,697	0,0011	**10009**	Ziraat	0,635	0,05
736	Orman	0,807	0,0004	**10010**	Ziraat	0,515	0,10
1201	Orman	0,642	0,0015	**10012**	Orman	0,592	0,052
1268	Orman	0,670	0,0009	**10013**	Mera	0,495	0,095
1723	Orman	0,687	0,001	**10018**	Mera	0,464	0,055
1731	Orman	0,690	0,0022	**10019**	Orman	0,549	0,10
1741	Orman	0,708	0,0018	**10023**	Mera	0,465	0,053
1746	Orman	0,679	0,0019	**10024**	Mera	0,501	0,042
1749	Orman	0,702	0,002	**10026**	Orman	0,522	0,13
1763	Orman	0,555	0,01	**10027**	Orman	0,588	0,07
1767	Orman	0,701	0,00033	**10034**	Orman	0,580	0,07
1773	Orman	0,821	0,00029	**10037**	Orman	0,510	0,135
1832	Orman	0,759	0,0009	**10039**	Mera	0,614	0,01
1833	Orman	0,752	0,0008	**10040**	Orman	0,634	0,009
1838	Orman	0,752	0,0005	**10041**	Orman	0,614	0,09
1854	Orman	0,695	0,0025	**10042**	Mera	0,378	0,06
1871	Orman	0,690	0,0028	**10043**	Orman	0,574	0,005
1887	Orman	0,655	0,002	**10044**	Orman	0,630	0,01
1893	Orman	0,767	0,0015	**10045**	Mera	0,504	0,045
1895	Orman	0,656	0,0019	**10046**	Mera	0,469	0,052
2001	Orman	0,718	0,002	**10047**	Mera	0,501	0,041
2002	Orman	0,587	0,02	**10050**	Orman	0,760	0,0005
2005	Orman	0,733	0,0018	**10051**	Ziraat	0,732	0,01
2008	Orman	0,736	0,0011	**10053**	Orman	0,752	0,00065
2012	Orman	0,680	0,009	**10055**	Orman	0,662	0,0019
2014	Orman	0,586	0,08	**10056**	Orman	0,761	0,0009
2015	Orman	0,756	0,009	**10057**	Orman	0,756	0,00092
2016	Orman	0,726	0,0029	**10059**	Orman	0,577	0,05
2017	Orman	0,641	0,05	**10061**	Orman	0,744	0,0015
2018	Orman	0,718	0,008	**10062**	Orman	0,622	0,005
2019	Orman	0,638	0,059	**10063**	Orman	0,730	0,0013
10001	Ziraat	0,716	0,02	**10064**	Orman	0,726	0,003
→	→	→	→				

Ek 7. Veliköy PB'ne ait NDVI ve sahada ölçülen C-faktörü değerleri (devam)

Örnek alan no.	AKAÖ	Ort. NDVI	C-faktörü	Örnek alan no.	AKAÖ	Ort. NDVI	C-faktörü
10065	Orman	0,635	0,006	**20016**	Sazlık	0,383	0,20
10066	Ziraat	0,608	0,0099	**20017**	Sazlık	0,298	0,30
10067	Orman	0,775	0,00045	**20019**	Sazlık	0,434	0,18
10068	Mera	0,755	0,0025	**20020**	Sazlık	0,439	0,179
10069	Mera	0,503	0,04	**20021**	Mera	0,430	0,18
10070	Mera	0,424	0,07	**20022**	Yol	0,447	0,17
10071	Mera	0,410	0,08	**20023**	Mera	0,481	0,15
10072	Mera	0,504	0,039				
10073	Mera	0,515	0,037				
10074	Mera	0,538	0,033				
10075	Mera	0,596	0,03				
10076	Mera	0,589	0,031				
10078	Orman	0,318	0,35				
10079	Orman	0,584	0,009				
10081	Orman	0,742	0,00059				
10082	Orman	0,756	0,0005				
10083	Orman	0,658	0,0016				
10084	Orman	0,738	0,00099				
10085	Mera	0,345	0,085				
10086	Mera	0,377	0,075				
10087	Mera	0,471	0,09				
10088	Mera	0,496	0,041				
10090	Mera	0,350	0,069				
20001	Yol	0,607	0,029				
20002	Yol	0,622	0,027				
20003	Yol	0,618	0,028				
20004	Yol	0,636	0,026				
20005	Yol	0,645	0,025				
20008	Orman	0,861	0,00035				
20009	Orman	0,817	0,0003				
20010	Orman	0,806	0,00033				
20011	Orman	0,828	0,00029				
20012	Orman	0,804	0,00034				
20013	Orman	0,818	0,0003				
20014	Orman	0,852	0,00029				
20015	Orman	0,810	0,00031				
→	→	→	→				

Ek 8. Olur PB'ne ait NDVI ve sahada ölçülen C-faktörü değerleri

Örnek alan no.	AKAÖ	Ort. NDVI	C-faktörü	Örnek alan no.	AKAÖ	Ort. NDVI	C-faktörü
10	Orman	0,760	0,0005	**523**	Orman	0,805	0,0008
78	Orman	0,678	0,0019	**526**	Orman	0,730	0,00065
85	Orman	0,600	0,002	**536**	Orman	0,638	0,00078
86	Orman	0,733	0,00099	**562**	Orman	0,714	0,00073
104	Orman	0,658	0,002	**567**	Orman	0,695	0,00068
105	Orman	0,749	0,00055	**1001**	Mera	0,321	0,05
134	Orman	0,544	0,006	**1002**	Mera	0,292	0,04
137	Orman	0,545	0,004	**1003**	Mera	0,386	0,035
142	Orman	0,647	0,0038	**1004**	Mera	0,299	0,04
144	Orman	0,748	0,0006	**1005**	Ziraat	0,310	0,045
161	Orman	0,500	0,005	**1006**	Ziraat	0,186	0,23
169	Orman	0,468	0,0048	**1007**	Ziraat	0,315	0,15
194	Orman	0,631	0,0043	**1008**	Ziraat	0,447	0,09
198	Orman	0,665	0,001	**1009**	Orman	0,296	0,04
205	Orman	0,632	0,0012	**1010**	Ziraat	0,537	0,07
222	Orman	0,638	0,001	**1011**	Ziraat	0,348	0,09
232	Orman	0,604	0,003	**1012**	Ziraat	0,554	0,0033
238	Orman	0,579	0,003	**1014**	Ziraat	0,309	0,20
243	Orman	0,594	0,0035	**1016**	Ziraat	0,713	0,025
256	Orman	0,555	0,0055	**1017**	Mera	0,178	0,25
258	Orman	0,514	0,0014	**1018**	Orman	0,125	0,38
259	Orman	0,698	0,0018	**1019**	Orman	0,199	0,08
277	Orman	0,668	0,0014	**1020**	Ziraat	0,353	0,10
278	Orman	0,713	0,00082	**1021**	Ziraat	0,323	0,035
280	Orman	0,643	0,0028	**1022**	Ziraat	0,232	0,15
282	Orman	0,550	0,0042	**1023**	Orman	0,245	0,06
287	Orman	0,672	0,00093	**1024**	Orman	0,227	0,065
321	Orman	0,687	0,00098	**1026**	Orman	0,177	0,07
414	Orman	0,627	0,0013	**1027**	Mera	0,192	0,08
476	Orman	0,643	0,0009	**1029**	Orman	0,229	0,063
483	Orman	0,608	0,0017	**1031**	Orman	0,307	0,03
493	Orman	0,651	0,0022	**1032**	Orman	0,161	0,15
499	Orman	0,696	0,001	**1034**	Mera	0,436	0,022
510	Orman	0,596	0,0041	**1035**	Orman	0,261	0,048
512	Orman	0,666	0,00055	**1036**	Orman	0,467	0,032
522	Orman	0,737	0,0009	**1037**	Orman	0,515	0,03
→	→	→	→				

Ek 8. Olur PB'ne ait NDVI ve sahada ölçülen C-faktörü değerleri (devam)

Örnek alan no.	AKAÖ	Ort. NDVI	C-faktörü	Örnek alan no.	AKAÖ	Ort. NDVI	C-faktörü
1038	Orman	0,602	0,0019	**1076**	Orman	0,317	0,0425
1039	Orman	0,279	0,045	**1077**	Mera	0,153	0,07
1040	Orman	0,450	0,038	**1079**	Mera	0,175	0,068
1041	Orman	0,386	0,04	**1080**	Mera	0,137	0,079
1044	Orman	0,327	0,043	**1083**	Orman	0,117	0,082
1045	Orman	0,406	0,03	**1084**	Orman	0,170	0,068
1046	Mera	0,307	0,039	**1085**	Orman	0,183	0,067
1047	Mera	0,402	0,034	**1086**	Orman	0,163	0,069
1048	Mera	0,358	0,037	**1087**	Orman	0,241	0,05
1049	Mera	0,395	0,0345	**1088**	Orman	0,189	0,066
1050	Mera	0,355	0,0375	**1089**	Orman	0,115	0,09
1051	Mera	0,370	0,036	**1090**	Mera	0,298	0,041
1052	Mera	0,482	0,02	**1091**	Mera	0,198	0,062
1053	Mera	0,322	0,038	**1093**	Mera	0,168	0,065
1054	Mera	0,290	0,045	**1094**	Mera	0,152	0,066
1055	Orman	0,241	0,035	**1095**	Mera	0,149	0,067
1056	Mera	0,385	0,0352	**1096**	Orman	0,136	0,06
1057	Mera	0,339	0,0375	**1097**	Mera	0,195	0,061
1058	Mera	0,398	0,0348	**1098**	Orman	0,304	0,037
1059	Mera	0,250	0,049	**1099**	Mera	0,224	0,055
1060	Orman	0,237	0,05	**1100**	Orman	0,147	0,065
1061	Orman	0,202	0,054	**1101**	Mera	0,314	0,043
1062	Orman	0,190	0,057	**1102**	Orman	0,246	0,05
1063	Orman	0,181	0,06	**1103**	Orman	0,306	0,048
1064	Orman	0,183	0,058	**1104**	Mera	0,169	0,068
1065	Mera	0,247	0,051	**1105**	Mera	0,131	0,072
1066	Orman	0,164	0,07	**1106**	Orman	0,143	0,07
1067	Mera	0,217	0,058	**1107**	Orman	0,661	0,0021
1068	Mera	0,233	0,052	**1108**	Orman	0,668	0,003
1069	Mera	0,238	0,051	**1109**	Orman	0,802	0,00058
1070	Orman	0,166	0,068	**10000**	Su	−0,156	0,75
1071	Mera	0,224	0,054	**10001**	Su	−0,175	0,78
1072	Orman	0,162	0,072	**10002**	Su	−0,191	0,80
1073	Orman	0,346	0,0415	**10003**	Su	−0,343	0,85
1074	Orman	0,321	0,042	**10004**	Su	−0,526	0,90
1075	Orman	0,270	0,0446	**10005**	Erozyon	0,088	0,35
→	→	→	→				

Ek 8. Olur PB'ne ait NDVI ve sahada ölçülen C-faktörü değerleri (devam)

Örnek alan no.	AKAÖ	Ort. NDVI	C-faktörü	Örnek alan no.	AKAÖ	Ort. NDVI	C-faktörü
10006	Erozyon	0,055	0,40	**10042**	Erozyon	0,072	0,43
10007	Erozyon	0,116	0,33	**10043**	Erozyon	0,051	0,46
10008	Erozyon	0,026	0,48	**10044**	Erozyon	0,103	0,36
10009	Erozyon	0,038	0,45	**10045**	Erozyon	0,033	0,50
10010	Erozyon	0,071	0,38				
10011	Erozyon	0,006	0,52				
10012	Erozyon	0,060	0,39				
10013	Bataklık	−0,066	0,59				
10014	Bataklık	0,002	0,55				
10015	Bataklık	−0,096	0,65				
10016	Su	−0,470	0,88				
10017	Mera	0,536	0,029				
10018	Mera	0,426	0,035				
10019	Mera	0,457	0,031				
10020	Mera	0,430	0,0345				
10021	Orman	0,516	0,01				
10022	Su	−0,066	0,57				
10023	Su	−0,031	0,56				
10024	Su	−0,154	0,72				
10025	Su	−0,080	0,60				
10026	Su	−0,140	0,70				
10027	Su	0,003	0,54				
10028	Su	−0,044	0,59				
10029	Su	−0,026	0,38				
10030	Su	−0,008	0,55				
10031	Su	−0,034	0,58				
10032	Su	−0,022	0,37				
10033	Su	−0,035	0,57				
10034	Su	−0,092	0,64				
10035	Orman	0,526	0,006				
10036	Orman	0,490	0,007				
10037	Orman	0,511	0,0065				
10038	Orman	0,481	0,0072				
10039	Orman	0,384	0,019				
10040	Orman	0,445	0,008				
10041	Orman	0,413	0,01				
→	→	→	→				

Ek 9. Veliköy PB'nde meşcere tipleri itibariyle tahmin edilen C-faktör değerleri

Meşcere tipi*	C-faktörü			Meşcere tipi	C-faktörü		
	Min.	Ort.	Maks.		Min.	Ort.	Maks.
GD	0,0000	0,0013	0,0496	Lc3	0,0004	0,0065	0,1942
GLD	0,0000	0,0013	0,0225	Çsc3	0,0002	0,0067	0,0642
LA	0,0000	0,0020	0,0115	Lcd2	0,0009	0,0067	0,0978
Kva3	0,0001	0,0025	0,0275	LMbc2	0,0006	0,0069	0,1016
Kzbc2	0,0001	0,0029	0,0397	Lbc3	0,0003	0,0069	0,2543
GÇsbc3	0,0001	0,0029	0,0236	ÇsLd3	0,0001	0,0070	0,1454
LGÇscd3	0,0001	0,0031	0,0406	MGnbc2	0,0001	0,0071	0,0942
MGna3	0,0001	0,0033	0,1450	LÇscd2	0,0009	0,0072	0,0709
LKvbc2	0,0001	0,0034	0,0390	ÇsLcd3	0,0001	0,0072	0,2831
MGnbc3	0,0000	0,0038	0,0408	Mbc3	0,0001	0,0072	0,0442
LMbc3	0,0000	0,0042	0,1254	LMab3	0,0005	0,0074	0,1642
Mab3	0,0000	0,0043	0,1200	Gde2	0,0001	0,0075	0,0978
LGcd3	0,0000	0,0043	0,0555	LGbc2	0,0003	0,0077	0,0591
LGcd2	0,0000	0,0044	0,0464	GnLc3	0,0017	0,0078	0,0159
LKvab3	0,0000	0,0044	0,0615	Ld1	0,0057	0,0083	0,0131
Ld3	0,0000	0,0045	0,0257	LMb3	0,0001	0,0084	0,0812
GLC	0,0000	0,0047	0,1073	Lc2	0,0001	0,0085	0,1274
MGnab3	0,0000	0,0049	0,1450	Kvab2	0,0001	0,0086	0,0307
Kvbc2	0,0000	0,0049	0,0453	GLcd2	0,0007	0,0087	0,1661
MGnb3	0,0000	0,0049	0,0717	ÇsLa3	0,0001	0,0087	0,0392
LÇsc3	0,0000	0,0050	0,0336	LDybc2	0,0013	0,0092	0,0248
LGc2	0,0000	0,0050	0,0358	ÇsLcd2	0,0003	0,0093	0,0925
ÇsLc3	0,0000	0,0051	0,0719	LÇsbc3	0,0001	0,0096	0,2771
Ma3	0,0000	0,0053	0,1587	LÇsc2	0,0002	0,0099	0,1441
ÇsLbc3	0,0000	0,0056	0,1022	HUvAka3	0,0009	0,0104	0,1443
ÇsGcd3	0,0000	0,0057	0,0458	Lbc2	0,0003	0,0108	0,1698
GA	0,0000	0,0057	0,0387	Lb3	0,0001	0,0109	0,1750
GLcd3	0,0000	0,0058	0,1344	Mab2	0,0004	0,0114	0,2249
Çsd1/La3	0,0028	0,0059	0,0125	HUvAkab3	0,0008	0,0115	0,2332
GLde2	0,0000	0,0059	0,0870	Lb2	0,0001	0,0116	0,1040
GLA	0,0000	0,0060	0,0961	Mb2	0,0001	0,0130	0,0550
LGc3	0,0000	0,0061	0,0726	Lb1	0,0001	0,0137	0,0415
Kvb3	0,0000	0,0061	0,0518	Kvab1	0,0001	0,0141	0,0508
LÇscd3	0,0000	0,0061	0,2018	BDy	0,0001	0,0142	0,1441
Çscd3	0,0000	0,0063	0,1041	Gcd2	0,0001	0,0143	0,1436
Lcd3	0,0000	0,0065	0,1139	LÇsbc2	0,0001	0,0148	0,2264
→	→		→				

* Meşcere tipi sıralaması en düşük ortalamadan yükseğe doğru yapılmıştır

Ek 9. Veliköy PB'nde meşcere tipleri itibariyle tahmin edilen C-faktör değerleri (devam)

Meşcere tipi	C-faktörü			Meşcere tipi	C-faktörü		
	Min.	Ort.	Maks.		Min.	Ort.	Maks.
Lcd1	0,0001	0,0149	0,1202	Ga0	0,0095	0,0311	0,0646
Çsbc3	0,0005	0,0165	0,1366	Z	0,0002	0,0311	1,000
UvHab2-T	0,0001	0,0165	0,0933	BKz	0,0001	0,0312	0,2834
UvHab1	0,0007	0,0166	0,1338	ÇsLb2	0,0007	0,0313	0,3797
Kvab3	0,0001	0,0167	0,2160	BL-T	0,0004	0,0328	0,3097
ÇsMLbc2	0,0001	0,0168	0,1192	ÇsLGbc2	0,0089	0,0363	0,1586
BGL	0,0001	0,0177	0,1679	Çsa0	0,0026	0,0366	0,3189
UvHab3	0,0001	0,0186	0,0373	BUvH-E	0,0026	0,0417	0,3128
Gcd1	0,0001	0,0187	0,1084	BDy-E	0,0001	0,0428	0,2127
ÇsLb3	0,0039	0,0200	0,0389	BG-E	0,0062	0,0439	0,1150
Lbc1	0,0005	0,0201	0,1640	BUvH-T	0,0001	0,0450	0,2340
BKv	0,0006	0,0202	0,2055	BG-T	0,0064	0,0459	0,1691
LÇsMab2	0,0021	0,0203	0,1510	BLM-T	0,0001	0,0461	0,4438
GÇscd2	0,0095	0,0208	0,0396	LÇsc2-E	0,0007	0,0474	0,2723
UvHab2	0,0005	0,0210	0,6278	BÇs	0,0001	0,0480	0,2844
Lcd1/a0	0,0039	0,0214	0,0608	İs	0,0007	0,0483	1,000
BLM	0,0002	0,0218	0,7712	BLÇs	0,0075	0,0492	0,1854
Çscd2	0,0001	0,0220	0,3202	BKv-E	0,0015	0,0492	0,3381
BL	0,0008	0,0230	0,5454	Bt	0,0187	0,0521	0,0739
Çscd1	0,0001	0,0231	0,1721	BÇsM	0,0008	0,0523	1,000
Çsde1	0,0112	0,0234	0,0472	BLM-E	0,0002	0,0545	0,2951
ÇsLbc2	0,0007	0,0235	0,1144	Çsbc2-T	0,0066	0,0589	0,2643
LGbc1/Çsa0	0,0054	0,0239	0,0713	OT-E	0,0001	0,0624	0,5721
BUvH	0,0009	0,0240	0,5789	BÇs-T	0,0001	0,0683	0,4258
UvHab1-T	0,0001	0,0248	0,1237	Me	0,0003	0,0683	1,000
BM	0,0003	0,0254	0,7344	Me-T	0,0015	0,0695	0,5375
Kva	0,0001	0,0257	0,1321	BM-E	0,0001	0,0728	0,7190
ÇsGcd2	0,0186	0,0258	0,0324	Ma3-T	0,0323	0,0789	0,1250
ÇsLcd1	0,0066	0,0258	0,0634	BÇsM-E	0,0008	0,0797	0,2798
OT	0,0001	0,0260	0,3052	OT-T	0,0001	0,0950	0,9473
BG	0,0005	0,0265	0,2014	BGDy-E	0,0022	0,0959	1,000
BGDy	0,0009	0,0278	0,1013	BL-E	0,0017	0,1018	1,000
BGDy-T	0,0001	0,0283	0,3316	BM-T	0,0001	0,1092	1,000
BGL-T	0,0001	0,0289	0,2485	Su	0,0009	0,1257	1,000
Mab2-T	0,0008	0,0290	0,0838	BÇs-E	0,0001	0,1462	1,000
BGL-E	0,0108	0,0293	0,0746	E	0,0004	0,1806	0,8788
Çsbc2	0,0001	0,0295	0,2813	T	0,0035	0,1972	0,9576
→	→		→	Me-E	0,0005	0,2247	1,000

Ek 10. Olur PB'nde meşcere tipleri itibariyle tahmin edilen C-faktör değerleri

Meşcere tipi	C-faktörü			Meşcere tipi	C-faktörü		
	Min.	Ort.	Maks.		Min.	Ort.	Maks.
ÇsDybc2	0,0007	0,0019	0,0074	ArDyb1	0,0011	0,0189	0,1486
Çsab2	0,0011	0,0022	0,0103	BÇs	0,0006	0,0214	0,1627
Çsc3	0,0008	0,0022	0,0294	BDyÇs	0,0017	0,0215	0,1149
KvDybc3	0,0005	0,0025	0,0361	BDy-T	0,0009	0,0220	0,1036
Çscd3	0,0006	0,0026	0,0597	ÇsArb1	0,0017	0,0279	0,0996
KvDyb3	0,0005	0,0033	0,0454	Me	0,0000	0,0293	0,2962
ÇsKvbc2	0,0008	0,0034	0,0341	Me-T	0,0012	0,0296	0,1793
Çsb3	0,0006	0,0035	0,0642	İs	0,0005	0,0304	0,1637
Çscd2	0,0006	0,0036	0,1075	BÇsDy	0,0008	0,0314	0,1921
Çsbc3	0,0005	0,0036	0,0776	BÇsAr	0,0007	0,0318	0,1107
Çsd1/a	0,0010	0,0037	0,0120	Bar0a	0,0036	0,0325	0,0936
Kvb2	0,0010	0,0040	0,0438	OT	0,0009	0,0341	0,1774
KvDyab2	0,0007	0,0045	0,0246	BAr0a-E	0,0014	0,0344	0,1000
ÇsDyb2	0,0006	0,0045	0,1608	Çsa0	0,0016	0,0407	0,1815
ÇsKvbc1	0,0016	0,0049	0,0147	Z	0,0003	0,0428	0,8506
Çscd1	0,0006	0,0052	0,0938	BMDy	0,0014	0,0444	0,1252
Kvbc2	0,0014	0,0056	0,0194	BDy	0,0006	0,0454	0,1924
ÇsDybc3	0,0017	0,0057	0,0171	Me-E	0,0005	0,0464	0,2166
KvDyb2	0,0005	0,0060	0,1314	BÇsDy-E	0,0042	0,0544	0,1044
ÇsDyb1	0,0007	0,0062	0,0359	Dp	0,0431	0,0566	0,0774
Çsbc2	0,0007	0,0068	0,0857	OT-T	0,0014	0,0650	0,1721
Çsb1	0,0009	0,0070	0,0655	BAr-E	0,0018	0,0681	0,1801
Çsbc1	0,0008	0,0071	0,0944	BAr	0,0013	0,0685	0,1680
Çsd1	0,0010	0,0072	0,0290	YaDya0	0,0066	0,0727	0,1433
Çsc2	0,0013	0,0072	0,0570	BArDy	0,0007	0,0747	0,7878
Çsb2	0,0018	0,0076	0,0783	OT-E	0,0008	0,0755	0,5109
Kvcd2	0,0011	0,0081	0,0814	OY	0,0019	0,0762	0,1367
Çscd/a	0,0036	0,0081	0,0194	BArDy-E	0,0016	0,0768	0,1868
BKv	0,0007	0,0090	0,0906	BDy-E	0,0008	0,0772	0,2406
Çsa	0,0014	0,0102	0,0625	BArDy-T	0,0009	0,0798	0,7540
Mb2	0,0018	0,0103	0,0880	BAr-T	0,0166	0,0809	0,1664
ÇsArb2	0,0021	0,0115	0,0790	T	0,0028	0,0814	0,1945
Çsc1	0,0022	0,0127	0,0376	Z-İs	0,0006	0,1594	0,7510
MArb2	0,0012	0,0135	0,1169	Su	0,0042	0,3301	0,9566
ArDyb2-T	0,0025	0,0151	0,0666	Oc	0,1461	0,4746	0,5772
KvDyb1	0,0008	0,0160	0,1787				
BÇs-T	0,0008	0,0172	0,0999				
→	→		→				

* Meşcere tipi sıralaması en düşük ortalamadan yükseğe doğru yapılmıştır.

Ek 11. Veliköy PB'nde meşcere tipleri itibariyle hesaplanan TKPİ'leri

Meşcere tipi	TKPİ* (%)	Meşcere tipi	TKPİ* (%)	Meşcere tipi	TKPİ* (%)	Meşcere tipi	TKPİ* (%)
GD	100,0	LMbc2	95,4	UvHab3	87,9	Z	72,8
GLD	99,8	HUvAka3	95,3	Kvab1	86,7	BKz	70,7
Kva3	99,1	LMab3	95,3	BGL	86,6	BL-T	70,0
MGna3	98,9	Lcd3	95,1	UvHab1	86,6	Çsa0	69,9
LA	98,9	Lc3	95,1	UvHab2-T	86,6	BLÇs	68,1
Kzbc2	98,8	LÇscd2	94,9	Gcd1	84,0	ÇsLGbc2	67,4
GÇsbc3	98,4	ÇsLcd3	94,9	Lbc1	82,7	LÇsc2-E	65,0
LGÇscd3	98,4	Lbc3	94,9	UvHab2	82,7	BUvH-E	64,1
LKvbc2	98,2	MGnbc2	94,9	ÇsLb3	82,6	BDy-E	63,1
MGnbc3	97,9	Lcd2	94,8	LGbc1/Çsa0	82,3	BG-E	62,9
LMbc3	97,5	Gde2	94,5	BKv	82,3	BUvH-T	62,5
Mab3	97,5	ÇsLd3	94,3	BLM	81,8	BLM-T	60,7
LGcd2	97,4	GLcd2	94,3	BGDy-T	81,7	BKv-E	59,6
LGcd3	97,2	LMb3	94,0	ÇsMLbc2	81,5	BG-T	59,0
Ld3	97,1	GnLc3	93,9	LÇsMab2	81,4	İs	58,6
LKvab3	97,1	Kvab2	93,7	Çscd2	81,3	BÇsM	55,5
Mbc3	96,9	LGbc2	93,6	Çsde1	81,1	BÇs	55,5
MGnab3	96,9	ÇsLcd2	93,5	Lcd1/a0	81,1	BLM-E	53,4
ÇsGcd3	96,8	LÇsbc3	93,2	Çscd1	80,8	Su	53,2
LÇsc3	96,8	Lc2	93,0	BUvH	80,8	Çsbc2-T	50,9
Çsd1/La3	96,8	Lb3	92,1	GÇscd2	80,7	BGDy-E	47,6
GLC	96,7	ÇsLa3	91,9	BL	80,0	OT-E	47,2
LGc2	96,7	Ld1	91,9	Kva	79,6	BM-E	46,8
MGnb3	96,7	LDybc2	91,8	ÇsLbc2	79,4	Me-T	46,7
Kvbc2	96,7	Lb1	91,7	UvHab1-T	79,1	Me	41,5
GLcd3	96,5	HUvAkab3	91,7	ÇsLb2	78,9	OT-T	40,1
GA	96,4	LÇsc2	91,4	BGL-E	78,7	BÇs-T	39,3
ÇsLc3	96,3	Lbc2	91,3	BM	78,7	BM-T	32,4
Çscd3	96,2	Mab2	91,0	OT	77,5	BÇsM-E	27,6
GLde2	96,1	Lb2	90,9	BG	77,3	BL-E	22,8
ÇsLbc3	96,1	Kvab3	89,5	BGL-T	77,0	BÇs-E	17,4
GLA	95,9	Gcd2	88,9	ÇsGcd2	76,1	Me-E	6,7
Çsc3	95,8	BDy	88,8	Mab2-T	76,0	E	3,7
LGc3	95,7	Çsbc3	88,6	ÇsLcd1	75,6	Ma3-T	1,1
Ma3	95,6	LÇsbc2	88,5	BGDy	75,4	T	0
Kvb3	95,5	Lcd1	88,4	Çsbc2	74,5		
LÇscd3	95,5	Mb2	88,1	Ga0	73,0		
→		→		→			

* TKPİ: Toprak Koruma Performans İndisi; meşcerelerin toprağı erozyona karşı ne kadar iyi koruyabildiklerini gösterir. Tablodaki meşcere tipi sıralaması en iyiden kötüye doğru yapılmıştır.

Ek 12. Olur PB'nde meşcere tipleri itibariyle hesaplanan TKPİ'leri

Meşcere tipi	TKPİ* (%)	Meşcere tipi	TKPİ* (%)
ÇsDybc2	100,0	BÇs-T	87,7
Çsc3	99,5	ArDyb1	86,5
KvDybc3	99,3	BDyÇs	84,7
Çsab2	99,2	BÇs	84,6
Çscd3	99,2	BDy-T	84,2
ÇsKvbc2	98,6	ÇsArb1	79,7
Çsd1/a	98,5	Me	78,1
Çsb3	98,0	Me-T	77,9
Çsbc3	98,4	İs	76,9
Çscd2	98,3	BÇsDy	76,9
KvDyb3	98,2	BÇsAr	76,5
Kvb2	98,1	BAr0a	76,2
KvDyab2	97,8	BAr0a-E	74,8
ÇsKvbc1	97,4	OT	74,5
ÇsDyb2	97,4	Çsa0	69,5
Çscd1	96,9	Z	69,4
ÇsDybc3	96,7	BMDy	67,8
ÇsDyb1	96,7	BDy	65,2
Kvbc2	96,6	Me-E	64,9
KvDyb2	96,6	BÇsDy-E	58,0
Çsc2	96,2	Dp	55,7
Çsbc2	95,8	OT-T	50,0
Çsb1	95,8	BAr-E	47,5
Çscd/a	95,8	BAr	46,7
Çsd1	95,8	YaDya0	43,0
Çsbc1	95,3	BArDy	41,9
Çsb2	95,1	OT-E	41,3
BKv	94,1	BArDy-E	40,1
Çsa	94,0	BDy-E	39,7
Mb2	93,5	T	39,3
ÇsArb2	92,4	BArDy-T	38,1
Kvcd2	92,0	BAr-T	36,0
Çsc1	91,7	OY	15,5
MArb2	90,4	Z-İs	5,1
ArDyb2-T	89,9	Su	0
KvDyb1	88,5		

→

* TKPİ: Toprak Koruma Performans İndisi; meşcerelerin toprağı erozyona karşı ne kadar iyi koruyabildiklerini gösterir. Tablodaki meşcere tipi sıralaması en iyiden kötüye doğru yapılmıştır.

Ek 13. Veliköy PB'ndeki tüm değişkenler arasındaki ilişkileri gösteren korelasyon matrisi

Değişkenler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	1	−,35**	−,15	,34**	−,33*	,40**	,62**	,73**	,13	,16	,09	,09	−,02	−,17	−,08	−,04	−,06	,03	,12	−,19	−,19	−,08	−,13	,25*	,30**	,11	−,24*	−,26*	−,05	−,05	,31**	,26
2		1	,04	−,27*	−,11	−,28*	−,16	−,09	−,36**	−,06	,13	,30**	−,03	,04	,04	,31**	−,04	,20	,19	−,03	,03	−,09	,18	−,02	−,18	−,02	,18	,37**	,10	,10	−,32**	−,21
3			1	−,29	−,31*	−,28	−,18	−,21	−,17	−,18	,30*	,30*	−	−,09	−,08	,14	−,10	,07	,04	−,35*	,02	,22	−,25	−,10	,17	−,05	,19	,23	−,03	−,04	−,23	−,25
4				1	,37**	,70**	,35**	,39**	,59**	,34**	−,43**	−,46**	,04	−,14	−,12	,10	−,14	−,16	−,03	,22	,09	−,28*	,16	,27*	,04	,39**	−,39**	−,24*	−,01	,01	,33**	,43**
5					1	,10	−,42**	−,45**	,46**	−,01	−,44**	−,58**	−	−,01	−,03	−,18	,01	,01	−,17	,57**	,10	−,05	,24	−,14	−,35**	,01	−,22	−,07	−,14	−,14	,17	,24
6						1	,56**	,54**	,31**	,47**	−,18	−,13	−,13	−,01	−,02	,21	,09	−,14	−,01	−,05	,12	−,09	−,05	,18	,16	,14	−,28*	−,20	,13	,14	,27*	,30**
7							1	**,96****	,19	,30**	,23*	,06	−,05	−,15	,06	,10	,15	−,04	,36**	−,24*	−,04	−,15	−,11	,32**	,34**	,21	−,39**	−,32**	,19	,20	,41**	,39**
8								1	,07	,31*	,20	,29*	−,04	−,15	−,21	,14	−,15	,09	,34**	−,18	−,01	−,20	−,08	,37**	,33*	,01	−,40**	−,30*	,08	,09	,37**	,41**
9									1	,16	−,31**	−,63**	−,06	−,18	−,03	,04	,03	−,18	,15	,19	,32**	−,40**	,13	,45**	,25**	,22*	−,54	−,32**	,05	,06	,49**	,61**
10										1	−,01	−,02	−,06	,01	,41**	,17	,29**	,06	,05	−,16	,08	,07	−,19	,07	,26**	,15	−,30**	−,09	,38**	,39**	,29**	,32**
11											1	,48**	,09	,05	,14	,04	,17	,25*	,19	−,30	,04	,02	−,25**	,18	,38**	−,18	−,23*	−,02	,28**	,28**	,23*	,19*
12												1	,07	−,20*	−,19*	,54**	,10	,24*	,01	−,23	−,04	,15	−,23*	−,02	,23*	−,22	,37**	,37**	,10	,09	−,41**	−,41**
13													1	,02	−,12	,05	,01	−,07	−,10	−,02	,01	−,13	−,07	,25**	,26**	−,01	−,04	−,07	−,08	−,08	,04	,03
14														1	,22*	−,09	,52**	,07	,01	−,03	−,08	,11	−,11	−,07	,04	−,02	,16	,21*	,12	,11	−,15	−,15
15															1	−,13	,34**	−,11	,08	−,13	−,02	,11	−,16*	−,04	,09	,27**	−,09	,20**	,58**	,59**	,12	,13
16																1	,13	,10	−,02	−,15	,38	−,08	−,08	,16*	,21**	,23**	,37**	,41**	,28**	,27**	−,47**	−,38**
17																	1	−,05	,09	−,13	−,25**	,26**	−,30**	−,13	,15	,13	,34**	,48**	,34**	,33**	−,35**	−,26**
18																		1	,21*	,08	−,06	,13	−,04	−,19	−,13	−,21	−,08	−,09	−,06	−,06	,05	,09
19																			1	−,05	−,02	,01	−,06	,05	,09	,20	−,17	−,09	,07	,07	,19	,16
20																				1	,17	−,18	,24*	,05	−,20	−,14	−,20*	−,09	−,27**	−,27**	,16	,23
21																					1	−,39**	−,02	,52**	,46**	−,13	−,34**	,23**	−,02	−,01	,30**	,31**
22																						1	−,66**	**−,87****	−,27**	,01	,20	,11	,05	,05	−,20*	−,27**
23																							1	,21**	−,53**	−,01	,05	,04	−,14	−,15	−,04	−,03
24																								1	,71**	−,01	−,30**	−,17*	,03	,05	,31**	,38**
25																									1	01	−,27**	−,16*	,16*	,17*	,27**	,32**
26																										1	,16	,42	,32**	,31**	−,22*	−,13
27																											1	,60	,01	−,02	**−,97****	**−,93****
28																												1	,51**	,47**	−,67**	−,59**
29																													1	**,99****	−,02	,01
30																														1	,02	,04
31																															1	**,95****
32																																1

1: yaş, 2: artım (asli ağaç türü), 3: artım (ikinci ağaç türü), 4: göğüs yüzeyi, 5: ağaç sayısı, 6: ağaç serveti, 7: orta boy, 8: üst boy, 9: kapalılık, 10: ölü örtü kalınlığı, 11: diri örtü yüksekliği, 12: diri örtü örtme derecesi, 13: diri örtü dip kütük çapı, 14: taşlılık, 15: eğim, 16: rakım, 17: pürüzlülük, 18: dikili kuru miktarı, 19: devrik miktarı, 20: dip kütük miktarı, 21: organik madde içeriği, 22: kum oranı, 23: kil oranı, 24: toz oranı, 25: K-faktörü, 26: yamaç uzunluğu, 27: C-faktörü, 28: potansiyel toprak kaybı, 29: maksimum toprak kaybı, 30: önlenen toprak kaybı, 31: toprak koruma performans indisi (TKPİ), 32: NDVI. *p<0,05; **p<0,01

Ek 14. Olur PB'ndeki tüm değişkenler arasındaki ilişkileri gösteren korelasyon matrisi

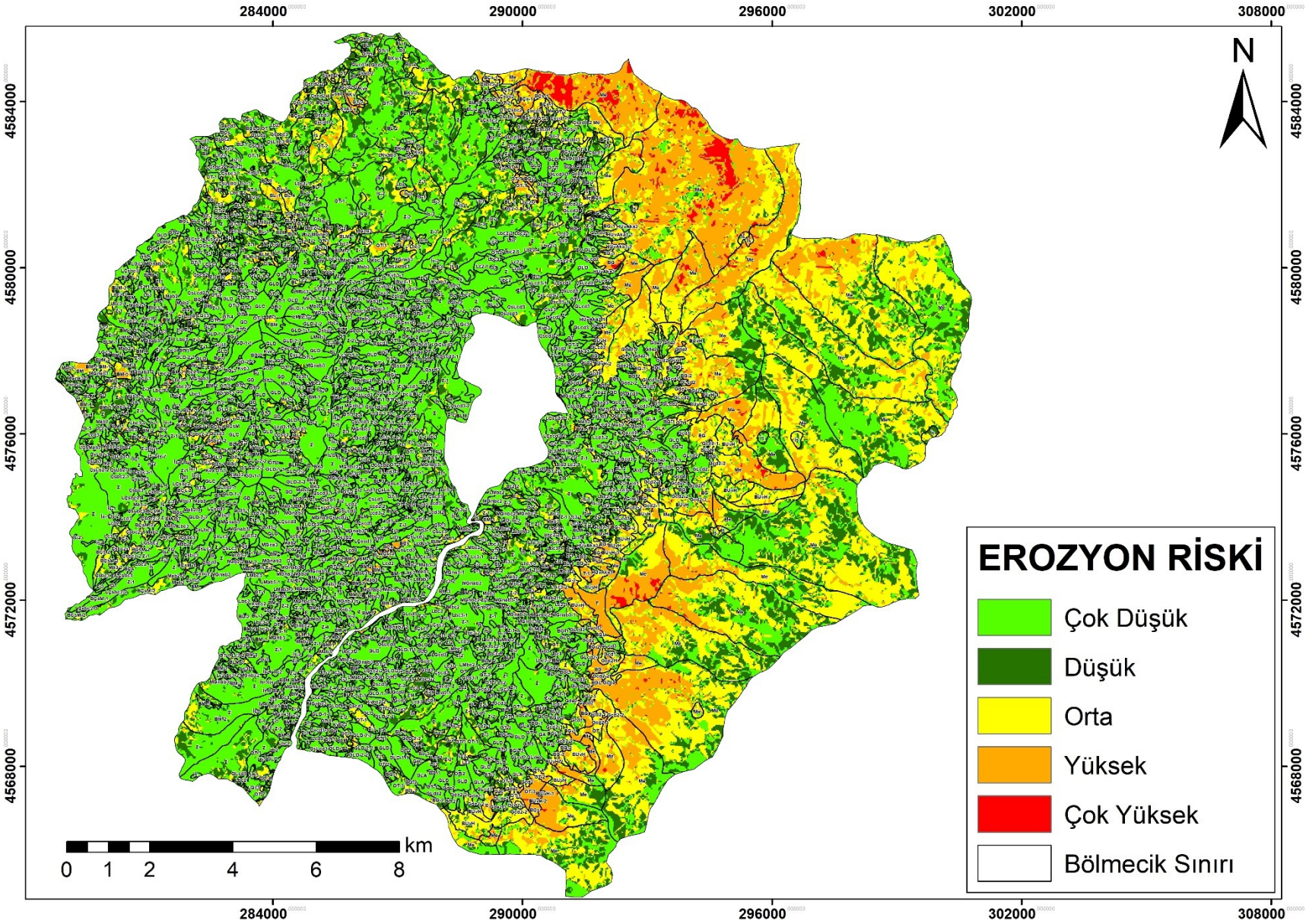
Değişkenler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	1	−,51**	**,81**	,36	−,02	,39*	,50**	,52	−,19	−,16	−,18	−,13	,31	,04	−,09	,15	−,23	,00	−,06	,18	−,07	−,03	,07	−,02	−,07	−,16	−,13	−,08	−,14	−,14	−,07	−,04
2		1	−,01	−,27	−,13	−,18	−,06	,16	−,13	,02	,19	,11	−,12	−,05	,02	−,01	,11	,02	−,02	−,04	−,12	−,04	−,14	,19	,27	,08	−,15	,06	,40*	,40*	,05	,21
3			1	,69	,41	,65	,75	,80	−,20	−,03	,03	,43	,46	,36	−,71	−,39	−,52	,27	,64	,39	−,77	,83	**−,96***	,12	**,97***	,04	−,26	−,32	−,50	−,50	,57	,33
4				1	,47**	**,89****	,74**	**,88****	,19	,46**	−,04	,10	,21	−,47**	−,23	,51**	−,69**	−,17	−,13	,35*	,15	−,32	,35*	,15	−,22	−,30	−,62**	−,38*	,09	,09	,48**	,62**
5					1	,41**	,16	,48	,58**	,17	−,10	−,21	−,14	−,21	−,34*	,01	−,38**	,01	,01	,47**	,18	−,09	,19	−,06	−,21	−,40*	,27	−,25	−,20	−,20	,08	,28
6						1	**,82****	**,89****	,10	,25	−,02	,23	,23	−,27	−,23	,57**	−,48**	−,32*	−,14	,32*	,17	−,26	,18	,22	−,02	−,13	−,54**	−,33*	,07	,08	,44**	,59**
7							1	**,99****	,47**	,52**	−,07	,25	,38**	−,54**	−,23	,78**	−,55**	−,17	−,02	,45**	,43**	−,21	,16	,16	−,02	,01	−,69**	−,46**	,31*	,34**	,68**	,79**
8								1	−,20	,61*	−,26	,09	,42	−,54	−,32	,40	**−,82****	,09	,12	,68*	,49	,14	−,14	−,09	,10	−,58	−,71**	−,12	,48	,48	,59*	,70
9									1	,44**	−,09	−,21	−,23	−,47**	−,14	,45**	−,46**	,22	,12	,46**	,66**	−,21	,05	,31**	,16	−,12	−,76**	−,32**	,23*	,28**	,69**	,76**
10										1	−,10	,12	,21	−,56**	,15	,57**	−,35**	,10	,34**	,41**	,46**	−,15	,13	,11	−,04	,18	−,63**	−,31*	,53**	,54**	,59**	,65**
11											1	,12	,04	,05	−,08	,06	,01	,03	,09	−,15	,05	−,11	−,08	,26*	,25*	,06	−,16	−,09	−,05	,05	,18	,20
12												1	−,09	−,15	−,02	,30*	−,07	−,15	,07	−,01	,15	−,13	−,16	,35	,39**	,12	−,07	,08	,19	,20	,11	,14
13													1	−,16	−,10	,23	−,02	−,06	−,04	−,07	,01	−,04	,14	−,07	−,17	−,11	−,17	−,16	,14	,14	,19	,25
14														1	,45**	−,24*	,48**	−,17	−,21	−,35**	−,22*	,19	−,14	−,18	,01	,51**	,65**	,49**	,10	,04	−,62**	−,58**
15															1	,03	,32**	−,02	−,04	−,26*	,16	,21*	−,27**	−,07	,23**	,30**	,14	,37**	,51**	,50**	−,09	−,09
16																1	−,27**	−,07	,02	,14	,38**	−,05	−,01	,09	,08	,24*	−,39**	,08	,44**	,45**	,38**	,36**
17																	1	,01	−,07	−,45**	−,12	,07	−,05	−,06	−,01	,23	,42**	,40**	,10	,07	−,38**	−,40
18																		1	,68**	,22	,10	,11	,01	−,18	−,15	−,04	−,17	−,11	−,01	−,01	,12	,06
19																			1	,29*	,04	,17	−,09	−,18	−,05	,03	−,15	−,09	,00	,01	,14	,10
20																				1	,30*	−,11	,13	,05	−,09	−,22	−,38**	−,21	,02	,02	,35**	,38**
21																					1	−,15	−,01	,26**	,19*	−,03	−,67**	−,15	,38**	,40**	,63**	,67**
22																						1	**−,84****	−,82	,25**	−,07	,20	,18*	,04	,02	−,13	−,30**
23																							1	,38**	−,73**	,02	−,05	−,17	−,20*	−,19*	−,01	,10
24																								1	,34**	,10	−,29**	−,13	,15	,16	,23**	,40**
25																									1	,07	−,14	,08	,32**	,32**	,16	,19*
26																										1	,31**	,69**	,45**	,36**	−,31**	−,28**
27																											1	,44**	−,19*	−,26**	**−,93****	**−,89****
28																												1	,40**	,32**	−,37**	−,43**
29																													1	**,99****	,21*	,25**
30																														1	,27**	,31**
31																															1	**,82****
32																																1

1: yaş, 2: artım (asli ağaç türü), 3: artım (ikinci ağaç türü), 4: göğüs yüzeyi, 5: ağaç sayısı, 6: ağaç serveti, 7: orta boy, 8: üst boy, 9: kapalılık, 10: ölü örtü kalınlığı, 11: diri örtü yüksekliği, 12: diri örtü örtme derecesi, 13: diri örtü dip kütük çapı, 14: taşlılık, 15: eğim, 16: rakım, 17: pürüzlülük, 18: dikili kuru miktarı, 19: devrik miktarı, 20: dip kütük miktarı, 21: organik madde içeriği, 22: kum oranı, 23: kil oranı, 24: toz oranı, 25: K-faktörü, 26: yamaç uzunluğu, 27: C-faktörü, 28: potansiyel toprak kaybı, 29: maksimum toprak kaybı, 30: önlenen toprak kaybı, 31: toprak koruma performans indisi (TKPİ), 32: NDVI. *p<0,05; **p<0,01

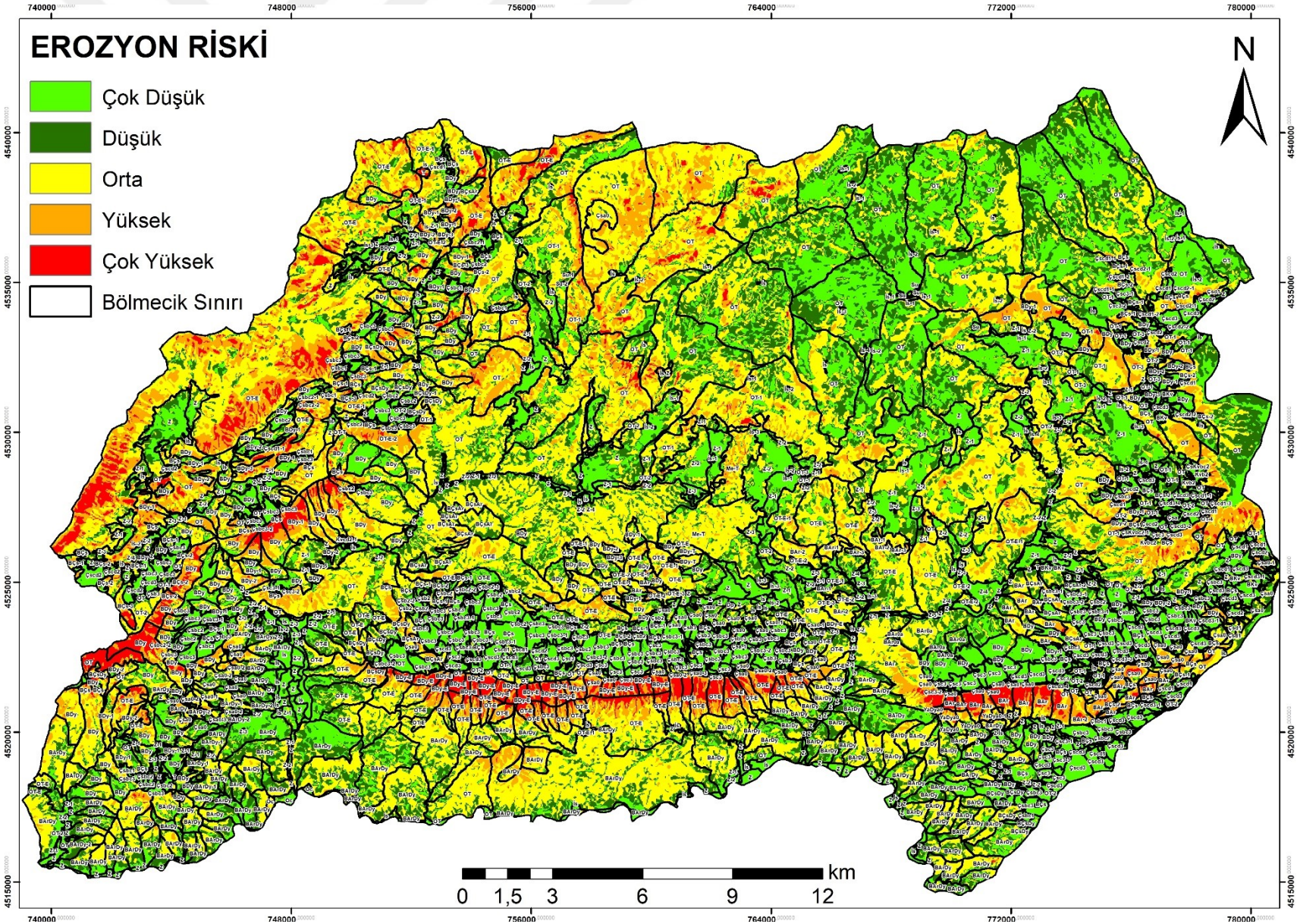
Ek 15. Erozyonu önleme fonksiyonuna ait göstergelerin Sarıçam hasılat tablosuna (Batu, 1971) entegrasyonu

Asli Meşcere							Ara Meşcere		Yıllık Cari Artım					Ortalama Artım		Erozyonu Önleme Fonksiyonu						
Yaş	Ağaç sayısı	Üst boy	Orta boy	Göğüs yüzeyi	Orta çap	Gövde hacmi	Ağaç sayısı	Gövde hacmi			Ara meşcere hacim toplamı	Genel hacim (gövde hacmi)	Ara hasılat yüzdesi	Asli meşcere	Genel verim	Toprak koruma performans indisi (%)		Önlenen toprak kaybı (t ha^{-1} $yıl^{-1}$)		Potansiyel toprak kaybı (t ha^{-1} $yıl^{-1}$)		Yaş
Yıl	Adet	m	m	m^2	cm	m^3	Adet	m^3	m^3	%	m^3	m^3	%	m^3	m^3	Eğim <%30 ise	Eğim ≥%30 ise	Eğim <%30 ise	Eğim ≥%30 ise	Eğim <%30 ise	Eğim ≥%30 ise	Yıl
										(III.	***B O N İ***	***T E T)***										
20	10100	6,0	5,1	32,1	6,4	91,5	–	–	–	–	–	91,5	–	4,6	4,6	91,5	92,0	47	107	1,1	1,7	20
25	7310	7,4	6,4	34,1	7,7	131,2	2790	1,0	8,1	6,2	1,0	132,2	0,8	5,2	5,3	92,0	92,5	59	119	1,2	1,6	25
30	5615	8,7	7,7	36,0	9,0	169,5	1698	2,5	8,2	4,8	3,5	173,0	2,0	5,7	5,8	92,5	93,0	71	136	1,3	1,5	30
35	4490	10,0	9,0	37,8	10,3	206,5	1125	3,5	8,1	3,9	7,0	213,5	3,3	5,9	6,1	93,1	93,5	83	152	1,4	1,4	35
40	3700	11,2	10,2	39,6	11,7	242,2	790	5,1	8,2	3,4	12,2	254,4	4,8	6,1	6,4	93,7	94,0	95	169	1,5	1,3	40
45	3120	12,4	11,4	41,3	13,0	276,6	580	6,1	8,1	2,9	18,3	294,9	6,2	6,2	6,6	94,2	94,5	102	185	1,5	1,2	45
50	2680	13,6	12,5	42,8	14,2	309,7	440	7,1	8,0	2,6	25,4	335,1	7,6	6,2	6,7	94,8	95,0	119	202	1,5	1,1	50
55	2334	14,7	13,6	44,3	15,5	341,5	346	8,1	8,0	2,3	33,5	375,0	8,9	6,2	6,8	95,3	95,5	131	212	1,5	1,0	55
60	2058	15,8	14,7	45,8	16,8	371,9	276	8,9	7,9	2,1	42,4	414,3	10,2	6,2	6,9	95,6	96,0	122	215	1,3	0,9	60
65	1833	16,9	15,7	47,1	18,0	401,1	225	9,8	7,8	1,9	52,2	453,3	11,5	6,2	7,0	95,9	96,5	113	218	1,1	0,8	65
70	1647	17,9	16,7	48,4	19,3	428,9	186	10,6	7,7	1,8	62,8	491,7	12,8	6,1	7,0	96,2	97,0	104	221	0,9	0,7	70
75	1490	18,8	17,6	49,6	20,5	455,4	157	11,5	7,6	1,7	74,3	529,7	14,0	6,1	7,1	96,4	97,5	95	224	0,8	0,6	75
80	1357	19,8	18,5	50,7	21,8	480,7	133	11,8	7,4	1,5	86,1	566,8	15,2	6,0	7,1	96,7	98,0	86	227	0,7	0,5	80
85	1243	20,6	19,4	51,7	23,0	504,6	114	12,5	7,3	1,4	98,6	603,2	16,3	5,9	7,1	97,0	98,5	82	228	0,6	0,5	85
90	1144	21,5	20,2	52,7	24,2	527,2	99	12,8	7,1	1,3	111,3	638,5	17,4	5,9	7,1	97,2	98,5	79	228	0,5	0,5	90
95	1058	22,3	21,0	53,5	25,4	548,5	86	13,4	6,9	1,3	124,7	673,2	18,5	5,8	7,1	97,5	98,5	75	228	0,4	0,5	95
100	982	23,0	21,7	54,3	26,5	568,5	76	13,6	6,7	1,2	138,3	706,8	19,6	5,7	7,1	97,7	98,5	72	228	0,3	0,5	100
105	915	23,8	22,4	55,0	27,7	587,1	67	13,7	6,5	1,1	152,0	739,1	20,6	5,6	7,0	98,0	98,5	72	220	0,2	0,5	105
110	856	24,4	23,1	55,7	28,8	604,5	59	13,9	6,3	1,0	165,9	770,4	21,5	5,5	7,0	98,0	98,5	72	212	0,2	0,5	110
115	802	25,1	23,7	56,2	29,9	620,5	54	14,2	6,1	1,0	180,1	800,6	22,5	5,4	7,0	97,9	98,0	70	203	0,3	0,5	115
120	754	25,7	24,3	56,7	30,9	635,3	48	14,5	5,9	0,9	194,6	829,6	23,4	5,3	6,9	97,8	97,5	69	195	0,4	0,7	120
125	711	26,2	24,8	57,1	32,0	648,7	43	14,6	5,6	0,9	209,2	857,9	24,4	5,2	6,9	97,7	97,0	68	186	0,5	0,9	125
130	672	26,7	25,3	57,4	33,0	660,8	39	14,9	5,4	0,8	224,1	884,9	25,3	5,1	6,8	97,6	96,5	67	178	0,6	1,1	130
135	636	27,2	25,8	57,7	34,0	671,7	36	15,5	5,1	0,8	239,6	911,3	26,3	5,0	6,7	97,4	96,0	66	169	0,7	1,2	135
140	603	27,6	26,2	57,8	34,9	681,1	33	14,8	4,9	0,7	254,3	935,4	27,2	4,9	6,7	97,1	95,5	64	160	0,8	1,3	140
145	574	28,0	26,5	57,8	35,8	689,3	29	14,6	4,6	0,7	268,9	958,2	28,1	4,8	6,6	96,5	95,0	62	152	0,9	1,4	145
150	546	28,4	26,9	57,8	36,7	696,2	28	14,4	4,3	0,6	283,2	979,4	28,9	4,6	6,5	95,8	94,5	60	144	1,0	1,5	150

Ek 16. Veliköy PB'nin meşcere haritasıyla çakıştırılmış erozyon risk haritası



Ek 17. Olur PB’nin meşcere haritasıyla çakıştırılmış erozyon risk haritası



KAYNAKLAR

4856 Sayılı Kanun, 2003. Çevre ve Orman Bakanlığı Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun (2003). T.C. Resmi Gazete, 25102, 8 Mayıs 2003.

AGM, 2007. Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Seferberliği Eylem Planı (2008−2012). Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Genel Müdürlüğü, Ankara.

AGM, 2008. Havza rehabilitasyon projeleri. Tanıtım broşürü, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Genel Müdürlüğü, Ankara.

Akaike, H., 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In: Petrov BN, Csaki F (eds) Proceeding of the second international symposium on information theory. Academiai Kiado, Budapeşte, 267–281.

Akalp, T., 2016. İstatistik Yöntemler. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, No: 511, İstanbul, 460 s.

Alewell, C., Egli, M., Meusburger, K., 2015. An attempt toestimate tolerable soil erosion rates by matching soil formation with denudation in Alpine grasslands. *Journal of Soils and Sediments*, 15, 1383–1399.

Ankara Initiative, 2015. Ankara Initiative for the United Nations Convention to Combat Desertification (Final version). 20 October 2015, Ankara, 4 s.

Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., Williams, J.R., 1998. Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: model development. *J Am Water Resour Assoc*, 34 (1), 73–89.

Arnoldus, H.M.J., 1977. Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. *FAO Soils Bulletin*, 34, 39-44.

Asan, Ü., Şengönül, K., 1988. Orman formlarının fonksiyonel açıdan karşılaştırılması. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 4 (B), 52-67.

Asan, Ü., 1990. Orman kaynaklarının çok amaçlı kullanımı ve fonksiyonel planlama. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, 40 (3), 67-84.

Asan, Ü., Yeşil, A., 1993. Orman amenajmanında model plan düşünceleri ve son uygulama örnekleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, Cilt 43(1−2), 34-41.

Asan, Ü., 1999. Ormancılık Bilgisi. İstanbul Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 4197, İstanbul, 221 s.

Asan, Ü., Yeşil, A., Özdemir, İ., Özkan, U.Y., 2003. Ormancılık planları ve katılım. II. Ulusal Ormancılık Kongresi: Türkiye ormanlarının yönetimi ve katılım. ISBN: 975-93478-2-2, 114-122.

Asan, Ü., Özdemir, İ., 2005. Turizm merkezleri civarındaki ormanların amenajman sorunları ve planlama ilkeleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 1 (A), 117-131.

Asan, Ü., Özkan, U.Y., Zengin, H., Sağlam, S., 2007. Ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama yaklaşımının kent ormanlarında uygulama esaslar. Ormancılığımızın 150. yılı uluslararası sempozuyumu bildirileri, 227-242.

Asan, Ü., 2013a. Orman Amenajmanı Esasları (Temel kavramlar, amaçlar ve ilkeler). İstanbul Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 5146, İstanbul, 274 s.

Asan, Ü., 2013b. Proje alanlarında optimal kuruluşların belirlenmesi. Basılmamış proje raporu, İstanbul, 5 s.

Asan, Ü., 2015. Ekosistem tabanlı fonksiyonel orman planlama (ETFOP), hidroloji ve toprak koruma terimleri. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.

Asan, Ü., 2017. Orman Amenajmanı (Planlama Sistemleri). İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 434 s.

Auerwald, K., Fiener, P., Martin, W., Elhaus, D., 2014. Use and misuse of the K factor equation in soil erosion modeling: An alternative equation for determining USLE nomograph soil erodibility values. *Catena*, 118, 220-225.

Avcı, V., Yüksel, A., 2016. Büyükçay Havzası'nın (Elazığ) erozyon risk haritasının hazırlanması. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 16 (2), 319-335.

Ayaz, H., Karahalil, U., 2019. Kadastro sonucu orman sayılmayan ağaçlık alanlar: Gölcük orman işletme şefliği örneği. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 20 (2), 239-248.

Balcı, N., Özyuvacı, N., Özhan, S., 1993. Havza amenajmanı ve Orman Bakanlığı'nın görev ve sorumlulukları. 1. Ormancılık Şurası, Tebliğler ve ön çalışma grubu raporları (Cilt 1), 1−5 Kasım 1993, Ankara, 276-282.

Balcı, N., 1996. Toprak Koruma. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 439, İstanbul, 564 s.

Barnes, B.V., Zak, D.R., Denton, S.R., Spurr, S.H., 1998. Forest Ecology (4. Baskı). Wiley Yayınevi, ABD, 792 s.

Bartz, D., 2015. Soil Atlas 2015 – Facts and figures about earth, land and fields. Heinrich Böll Foundation & Institue for Advanced Sustainability Studies, Atlas Manufaktur Yayınevi, Berlin, Almanya.

Barut, Ö., 2010. Artvin Şavşat yöresinde su erozyonu çeşitleri−toprak tekstürü ilişkisi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 46 s.

Baskent, E.Z., Yolasigmaz, H.A., 1999. Forest landscape management revisited. *Environmental Management*, 24 (4), 437-448.

Baskent, E.Z., Keles, S., 2005. Spatial forest planning: A review. *Ecological Modelling*, 188, 145-173.

Başkent, E.Z., 2008. Yalnızçam ormanlarının Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlanması (ETÇAP) ve yönetimi projesinden arda kalanlar. *Orman Mühendisliği Dergisi*, 45, 26-32.

Baskent, E.Z., Terzioğlu, S., Başkaya, Ş., 2008. Developing and implementing multiple-use forest management planning in Turkey. *Environmental Management*, 42, 37-48.

Başkent, E.Z., 2015. Ormancılık sektörünün lokomotifi: Planlama. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 1(1−2), 1-7.

Başkent, E.Z., 2018. A review of the development of the Multiple Use Forest Management Planning concept. *International Forestry Review*, 20 (3), 296-313.

Batu, F., 1971. Ertrakstafeln und leistung potantial der kiefer (*Pinus sylvestris L.*) in der Turkei. Doktora tezi, Freiburg Universitat, Freiburg, 110 s.

BCMF, 1995. Mapping and assessing terrain stability guidebook. Forest practices code of British Columbia, British Columbia Ministry of Forests, Viktoria.

BCMF, 1999. Hazard assessment keys for evaluating site sensitivity to soil degrading processes guidebook (2. baskı). Forest practices code of British Columbia, British Columbia Ministry of Forests, Viktoria.

BCMF, 2001. Soil Conservation Guidebook (2. baskı). Forest practices code of British Columbia, British Columbia Ministry of Forests, Viktoria.

Beasley, D.B., Huggins, L.F., Monke, E.J., 1980. ANSWERS: A model for watershed planning. *Trans Am Soc Agric Engrs*, 23, 938-944.

Berg, B., Laskowski, R., 2006. Litter decomposition: a guide to carbon and nutrient turnover (Cilt 38). In: Advances in Ecological Research, Luo, Y., (ed), Elsevier, San Diego, 448 s.

Bettinger, P., Boston, K., Siry, J.P., Grebner, D.L., 2009. Forest Management and Planning. Academic Press, Burlington, ABD.

Bhattarai, R., Dutta, D., 2007. Estimation of soil erosion and sediment yield using GIS at catchment scale. *Water Resour Manag*, 21, 1635–1647.

Bilgili, E., Öztürk, M., Coskuner, K.A., Baysal, İ., Serdar, B., Yavuz, H., Eroğlu, M., Usta, Y., 2018. Quantifying the effect of pine mistletoe on the growth of Scots pine. *Forest Pathology*, 48(4), 1-9.

Blattert, C., Lemm, R., Thees, O., Lexer, M.J., Hanewinkel, M., 2017. Management of ecosystem services in mountain forests: Review of indicators and value functions for model based multi-criteria decision analysis. *Ecological Indicators*, 79, 391-409.

Boardman, J., Favis-Mortlock, D., 1998. Modelling soil erosion by water. Springer Science & Business Media.

Borrelli, P., Schütt, B., 2014. Assessment of soil erosion sensitivity and post-timber harvesting erosion response in a mountain environment of Central Italy. *Geomorphology*, 204, 412-424.

Borrelli, P., Marker, M., Panagos, P., Schütt, B., 2014. Modeling soil erosion and river sediment yield for an intermountain drainage basin of the Central Apennines, Italy. *Catena*, 114, 45-58.

Borrelli, P., Robinson, D.A., Fleischer, L.R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., Meusburger, K., Modugno, S., Schütt, B., Ferro, V., Bagarello, V., Oost, K.V., Montanarella, L., Panagos, P., 2017a. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, 8, 2013.

Borelli, P., Panagos, P., Marker, M., Modugno, S., Schütt, B., 2017b. Assessment of the impacts of clear-cutting on soil loss by water erosion in Italian forests: First comprehensive monitoring and modelling approach. *Catena*, 149, 770-781.

Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, 54, 464-465.

Bower, M.M., 1960. Peat erosion in the Pennines. *Advancement of Science*, 64, 323-331.

Boyce, R.C., 1975. Sediment routing with sediment delivery ratios. In: Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources. ABD Tarım Bakanlığı Yayınları, Yayın No: ARS-S-40, 61-65, ABD.

Bozali, N., 2020. Koruma amaçlı işletilen ormanların optimal kuruluşlarının belirlenmesi. *Turkish Journal of Forest Science*, 4 (1), 113-132.

Brandli, U.B., Duc, P., 2009. Indikatoren und Ergebnisse zur nachhaltigen Waldnutzung im Landesforstinventar LFI. Forum für Wissen, 2009, 59-66.

Briner, S., Huber, R., Bebi, P., Elkin, C., Schmatz, D.R., Gret-Regamy, A., 2013. Trade-offs between ecosystem services in a mountain region. *Ecology and Society*, 18 (3), 35-50.

Bulut, S., Günlü, A., Keleş, S., 2016. Estimation of some stand parameters using Göktürk-2 satellite image. 1st International Symposium of Forest Engineering and Technologies (FETEC 2016), 2−4 Haziran 2016, Bursa, 118-124.

Burkhard, B., Kandziora, M., Hou, Y., Müller, F., 2014. Ecosystem service potentials, flows and demands – concepts for spatial localization, indication and quantification. *Landscape Online*, 34, 1-32.

Burkhard, B., Maes, J., 2017. Mapping Ecosystem Services. Pensoft Publishers, Sofya, 374 s.

Buttafuoco, G., Conforti, M., Aucelli, P.P.C., Robustelli, G., Scarciglia, F., 2012. Assessing spatial uncertainty in mapping soil erodibility factor using geostatistical stochastic simulation. *Environ Earth Sci*, 66, 1111–1125.

CaLM, 1993. Erosion mitigation in loggin operations in New South Wales. Avustralya Arazi Yönetimi ve Koruma Servisi Yayınları, Yeni Güney Wales, 18 s.

Carpenter, S.R., Caraco, N.F., Correll, D.L., Howarth, R.W., Sharpley, A.N., Smith, V.H., 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecol Appl*, 8, 559–568.

Castaneda, F., 2000. Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management: International Processes, Current Status and The Way Ahead. Unasylva 203, FAO Yayınları, Roma.

CEPF, 2013. Caucasus biodiversity hotspot (Ecosystem profile final version). Critical Ecosystem Partnership Fund, https://cepf.net/sites/default/files/final.caucasus.ep_.pdf, (22 Aralık 2018, 13:00).

Cerdan, O., Govers, G., Le Bissonnais, Y., Van Oost, K., Poesen, J., Saby, N., Gobin, A., Vacca, A., Quinton, J., Auerswald, K., Klik, A., Kwaad, F.J.P.M., Raclot, D., Ionita, I., Rejman, J., Rousseva, S., Muxart, T., Roxo, M.J., Dostal, T., 2010. Rates and spatial variations of soil erosion in Europe: a study based on erosion plot data. *Geomorphology*, 122, 167–177.

Cerretelli, S., Poggio, L., Gimona, A., Yakop, G., Boke, S., Habte, M., Coull, M., Peressotti, A., Black, H., 2018. Spatial assessment of land degradation through key ecosystem services: The role of globally available data. *Science of the Total Environment*, 628, 539-555.

Chai, T., Draxler, R.R., 2014. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)?—Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geosci Model Dev*, 7, 1247–1250.

Chen, T., Niu, R., Li, P., Zhang, L., Du, B., 2011. Regional soil erosion risk mapping using RUSLE, GIS, and remote sensing: a case study in Miyun Watershed, North China. *Environ Earth Sci*, 63, 533-541.

Chi, Z., Yao, Z., Shen, S., Hiroyuki, N., Haruyoshi, I., Peng, C., Jun, F., 2008. Development of GIS-based FUSLE model in a Chinese fir forest sub-catchment with a focus on the litter in the Dabie Mountains, China. *For Ecol Manag*, 255, 2782–2789.

Congalton, R.G., Green, K., 2009. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. CRC Yayınevi, Boca Raton.

Cordonnier, T., Berger, F., Elkin, C., Lamas, T., Martinez, M., 2013. Models and linker functions (indicators) for ecosystem services. ARANGE Project (D2.2), 94 s.

Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grosso, M., Hannon, B., Limburg, K.E., Naeem, S., O'neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P.C., van den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253–260.

Çam, A., Fırat, O., Yılmaz, A., 2013. Harita Genel Komutanlığında ortofoto ve sayısal yüzey modeli üretimi faaliyetleri. TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 11−13 Kasım 2013, Ankara.

ÇEM, 2015a. Erozyon ve sel kontrolü uygulamalarında dikkate alınacak hususlarla ilgili rehber. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara.

ÇEM, 2015b. Türkiye'de havza rehabilitasyon projeleri. Tanıtım broşürü (Ekim), Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara.

ÇEM, 2016a. Türkiye'de erozyon kontrolü çalışmaları. Tanıtım broşürü (Aralık), Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara.

ÇEM, 2016b. Türkiye yağışlarının özellikleri ve Yenilenmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği (YETKE R-Faktörü) kitabı. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara.

ÇEM, 2017. Çölleşme ve erozyonla mücadele çalışma grubu belgesi. II. Ormancılık ve Su Şurası, Ankara, 62 s.

ÇEM, 2018. Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi (DEMİS) Türkiye Su Erozyonu İstatistikleri (Teknik Özet). Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara.

Çepel, N., 2007. Orman−erozyon ilişkisi. Seminer sunumları, http://docplayer.biz.tr/9720254-Orman-erozyon-iliskisi.html. Accessed 13 Dec 2018 (18 Nisan 2019, 10:00).

Çilek, A., Berberoğlu, S., Erdoğan M.A., Dönmez C., 2014. PESERA ve RUSLE erozyon modellerinin Akdeniz ve Ege havzalarındaki sonuçlarının karşılaştırılması. 5. UZAL−CBS Sempozyumu, 14−17 Ekim, İstanbul.

ÇNHRP, 2013. Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi tanıtım broşürü. Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.

ÇNHRP, 2015. Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi izleme ve değerlendirme (S3) grubu 5. Ara Raporu, Artvin, 44 s.

Çolak, A.H., Rotherhamd, I.D., Kırca, S., 2008. Learning together: the implications of close-to-nature silviculture for Turkish forest management. *World of Trees*, 16, 44-46.

Çolak, A.H., Kırca, S., Rotherham, I.D., İnce A., 2010. Restoration and Rehabilitation of Deforested and Degraded Forest Landscapes in Turkey. Ministry of Environment and Forestry, General Directorate of Afforestation and Erosion Control (AGM), Ankara, 571 s.

Davis, L.S., Johnson, K.N., Bettinger, P., Howard, T., 2001. Forest Management (4. Baskı). McGraw-Hill Science Yayınevi, ABD, 816 s.

de Groot, R.S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., Willemen, L., 2010. Challanges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 7, 260-272.

de Roo, A.P.J., 1996. Soil Erosion Assessment using G.I.S. In: V. P. Singh and M. Fiorentino (eds), Geographical Information Systems in Hydrology, Kluwer Academic Publishers, Water Science and Technology Library, Vol.26, Dordrecht, 339–356.

Demirci, A., Karaburun, A., 2012. Estimation of soil erosion using RUSLE in a GIS framework: a case study in the Buyukcekmece Lake watershed, northwest Turkey. *Environ Earth Sci*, 66 (3), 903–913.

Deniz, T., 2012. Erozyon kontrolü çalışmalarında değer analizi. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Desmet, P.J.J., Govers, G., 1996. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51 (5), 427-435.

Digital Globe, 2010. WorldView 2 satellite specifications. Veri karnesi, Web sitesi: https://www.digitalglobe.com/sites/default/files/DG_WorldView2_DS_PROD.pdf (29 Nisan 2019, 12:00).

Dinc, M., Vatandaslar, C., Duman, A., Tufekcioglu, M., Kucuk, M., Acikgoz Harsit, C., Tufekcioglu, A., 2018. Estimating biomass and carbon storage of grasslands using very high resolution satellite images in the Coruh River Basin (Northeastern Turkey). *Fresenius Environmental Bulletin*, 27 (8), 5509-5520.

Dissmeyer, G.E., Foster, G.R., 1981. Estimating the cover-management factor (C) in the Universal Soil Loss Equation for forest conditions. *Journal of Soil and Water Conservation*, 36, 235–40.

Dissmeyer, G.E., Foster, G.R., 1984. A Guide for Predicting Sheet and Rill Erosion on Forest Land. ABD Ormancılık Servisi teknik yayınları, No: R8-TP, ABD.

Doğan, O., Güçer, C., 1976. Su erozyonunun nedenleri−oluşumu ve üniversal denklem ile toprak kayıplarının saptanması. Topraksu Genel Müdürlüğü, Merkez Topraksu Araştırma Enstitüsü, Yayın No: 41, Ankara.

Doğan, O., 2015. Türkiye'de erozyonla mücadele çalışmalarının ekonomiye katkısı. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü çalışma raporu, https://www.tarimorman.gov.tr/CEM/Belgeler/erozyon%20belgeleri/erozyonla_mucadele_ekonomiye_katkisi%20(1).pdf (19 Nisan 2019, 11:00).

DSİ, 2013. Türkiye akarsularında süspanse sediment gözlemleri. Devlet Su İşleri Yayınları, Ankara.

Duman, A., 2017. Artvin, Erzurum ve Bayburt illerindeki bazı mikro havzalarda bozuk orman ve mera alanlarında bazı toprak özelliklerinin belirlenmesi, uydu görüntüleri ile ilişkilendirilmesi ve modellenmesi. Doktora tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin, 156 s.

Durigon, V.L., Carvalho, D.F., Antunes, M.A.H., Oliveria, P.T.S., Fernandes, M.M., 2014. NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. *International Journal of Remote Sensing*, 35 (2), 441-453.

EFI, 2013. Implementing Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management in Europe. https://www.efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/projects/efi_c-i_report_implementing_criteria_net_final.pdf (24 Nisan 2019, 11:00).

Egoh, B., Drakou, E.G., Dunbar, M.B., Maes, J., Willemen, L., 2012. Indicators for mapping ecosystem services: a review. Teknik rapor, JRC Scientific and Policy Reports, Avrupa Birliği Yayın Ofisi, Lüksemburg.

EİEİ, 2012. Elektrik İşleri Etüt İdaresi veri tabanı. http://www.coruhhavzasi.com/12-proje-alani.html (11 Aralık 2018, 11:15).

Eisazadeh, L., Sokouti, R., Homaee, M., Pazira, E., 2012. Comparison of empirical models to estimate soil erosion and sediment yield in micro catchments. *Eurasian Journal of Soil Science*, 1, 28-33.

Eken, G., Bozdoğan, M., İsfendiyaroğlu, S., Kılıç, D.T., Lise, Y., 2006. Türkiye'nin önemli doğa alanları (2. cilt). Doğa Derneği, Ankara.

Ekinci, D., 2005. CBS tabanlı uyarlanmış RUSLE yöntemi ile Kozlu Deresi Havzası'nda erozyon analizi. *Coğrafya Dergisi*, 13, 109-119.

Elkin, C., Gutierrez, A.G., Leuzinger, S., Manusch, C., Temperli, C., Rasche, L., Bugmann, H., 2013. A 2 °C warmer world is not safe for ecosystem services in the European Alps. *Global Change Biology*, 19, 1827-1840.

Eminağaoğlu, Ö., Anşin, R., 2004. Flora of the Karagöl−Sahara National Park (Artvin) and its environs. *Turkish Journal of Botany*, 28, 557-590.

Eminağaoğlu, Ö., Anşin, R., Kutbay, H.G., 2007. Forest vegetation of Karagöl−Sahara National Park Artvin−Turkey. *Turkish Journal of Botany*, 31, 421-449.

Eminağaoğlu, Ö., 2015. Artvin'in Doğal Bitkileri. Promat Yayınları, İstanbul, 456 s.

EPA, 2013. Stormwater to street trees: Engineering urban forests for stormwater management guide. U.S. Environmental Protection Agency Office of Wetlands, Oceans and Watersheds Nonpoint Source Control Branch, Washington, 4 s. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-11/documents/stormwater2streettrees.pdf (23 Aralık 2018, 12:00).

Eraslan, İ., 1982. Orman Amenajmanı. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 3010/318, İstanbul, 582 s.

Eraslan, İ., Şad, C., 1993. Orman Amenajmanı. İstanbul Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 3742, İstanbul, 420 s.

Ercanlı, İ., Yavuz, H., 2006. Doğu ladini (Picea orientalis (L.) Link.) meşcereleri için yöresel (Artvin merkez işletme şefliği) sıklığa bağlı hasılat tablosunun düzenlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 1 (A), 11-25.

Erdoğan, Y., 2010. Uluslararası ormancılık süreci SOY kriter ve göstergeleri. Eğitim sunumu, Isparta, http://ormanweb.sdu.edu.tr/soy/sunumlar/1_1.pdf (24 Nisan 2019, 15:00).

Erdoğan, M.A., 2012. Büyük Menderes Havzası İçin Risk Analizi Yöntemi Geliştirilmesi. Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Erinç, S., 1965. Yağış müessiriyeti üzerine bir deneme ve yeni bir indis. İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları, Yayın No: 40, İstanbul, 51 s.

Erinç, S., 1996. Klimatoloji ve Metodları (4. Baskı). Alfa Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, 538 s.

Erpul, G., Akgoz, R., Özcan, A.U., 2013. Comparison of soil loss predictions by the integrated RUSLE/SDR technology with the measured suspended sediment loads in the Buyuk Menderes Catchment, Turkey. In: Desertification and Land Degradation−Processes and Mitigation. UNESCO Chair of Eremology, Belçika.

Erpul, G., Şahin, S., İnce K., Küçümen, A., Akdağ, M.A., Demirtaş, İ., Çetin, E., 2018. Türkiye Su Erozyonu Atlası. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.

ESRI, 2012. ArcGIS 10,2 for Desktop. Environmental Systems Research Institute Inc., Kaliforniya.

Ewen, J., Parkin, G., O'Connell, P.E., 2000. SHETRAN: distributed river basin flow and transport modeling system. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, *Journal of Hydrologic Engineering*, 5, 250–58.

Fan, J., Yan, L., Wu, L., Zhang, P., Zhang, G., 2018. Estimation and prediction of the soil erosion risk influenced by the urbanization process within a county in hilly

area of southeast China, using RUSLE and clues model. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17 (1), 855-878.

FAO/ITTO, 2004. Expert consultation on criteria and indicators for Sustainable Forest Management. Orman Amenajmanı Bürosu Yayınları, Çevre ve Doğal Kaynaklar Departmanı, Cebu City.

FAO, 2017. Global Soil Partnership Endorses Guidelines on Sustainable Soil Management. http://www.fao.org/global-soil-partnership/resources/highlights/detail/en/c/416516/ (21 Nisan 2019, 13:00).

Fıstıkoğlu, O., Harmancıoğlu, N.B., 2002. Integration of GIS with USLE in assessment of soil erosion. *Water Resources Management*, 16, 447-467.

Forest Europe, 2011. State of Europe's forests 2011: Status and trends in sustainable forest management in Europe. Forest Europe, UNECE ve FAO Yayını, Aas, Norveç.

Foster, P.G., Constantini, A., 1991. Pinus plantation establishment in Queensland: I. field surveys for site preparation planning and site design. *Aust For*, 54, 75-82.

Fournier, A., 2011. Soil erosion: causes, processes and effects. Nova Science Yayıncılık, New York.

Frank, S., Fürst, C., Witt, A., Koschke, L., Makeschin, F., 2014. Making use of the ecosystem services concept in regional planning—trade-offs from reducing water erosion. *Landscape Ecology*, 29, 1377-1391.

Frehner, M., Wasser, B., Schwitter, R., 2005. Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung fur Pflegemassnahmen in Waldern mit Schutzfunktion, Bundesamt fur Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.

Frehner, M., Wasser, B., Schwitter, R., 2007. Sustainability and success monitoring in protection forests. Guidelines for managing forests with protective functions. Partial translation by Brang, P.; Matter, C. Environmental Studies No: 27/07 Çevre Federal Ofisi (FOEN), Bern, 29 + 26 s (Ekleriyle birlikte).

Fu, B., Liu, Y., Lü, Y., He, C., Zeng, Y., Wu, B., 2011. Assessing the soil erosion control service of ecosystems change in the Loess Plateau of China. *Ecological Complexity*, 8, 284-293.

Garfi, G., Veltri, A., Callegari, G., Iovino, F., 2006. Effetti della ceduazione sulle perdite di suolo in popolamenti di castagno della Catena Costiera Cosentina (Calabria). *Ital J For Mt Environ*, 61, 507-531.

Garmin, 2011. Garmin Montana 600 series quick start manual. Garmin International Inc., Kansas, ABD.

Gökbulak, F., 2004. Havza amenajmanının gelişimi ve doğal kaynak sorunlarıyla ilişkisi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, Cilt 54, Sayı 1.

Görcelioğlu, E., 2003. Sel ve çığ kontrolü. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 473, İstanbul.

GSC, 1995. Geology of the World (1:35000000 ölçekli sayısal jeoloji haritası). Geology Survey of Canada, https://www.orrbodies.com/resource/geology-world/ (14 Mart 2019, 15:00).

Guerra, C.A., Teresa, P.C., Metzger, M.J., 2014. Mapping soil erosion prevention using an ecosystem service modeling framework for integrated land management and policy. *Ecosystems*, 17, 878-889.

Guerra, C.A., Maes, J., Geijzendorffer, I.G., Metzger, M.J., 2016. An assessment of soil erosion prevention by vegetation in Mediterranean Europe: Current trends of ecosystem service provision. *Ecological Indicators*, 60, 212-222.

Gül, A.U., 1998. Orman amenajmanında işlevsel planlamanın doğrusal programlama ile gerçekleştirilmesi. Basılmamış doçentlik tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 62 s.

Gülşen, M., 2014. Eber Havzası'nda (Afyonkarahisar) toprak erozyonunun değerlendirilmesi. Yüksek lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.

Günay, T., 2008. Orman, ormansızlaşma, toprak ve erozyon (5. Baskı). TEMA Yayınları No: 1, İstanbul.

Haglöf, 2016. Haglöf Sweden Vertex IV Product sheet. Madison, ABD. http://www.haglofcg.com/index.php/en/products/instruments/height/341-vertex-iv (18 Mart 2019, 16:00).

Haines-Young, R., Potschin, M., 2013. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES), version 4.3. Report to the European Environment Agency, EEA/BSS/07/007, www.cices.eu (7 Aralık 2018, 16:00).

Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L., Black, W.C., 1998. Multivariate Data Analysis. Prentice Hall Basımevi, New Jersey.

Harmsen, K., 1996. Assessment of Current Erosion Damage Land Druck. Liebefeld, 111 s.

Henne, A., 1972. Die sozialfunktionen des waldes in der mittelfristigen forstlichen planung. AFZschr., Münih.

Imamoglu, A., Dengiz, O., 2017. Determination of soil erosion risk using RUSLE model and soil organic carbon loss in Alaca catchment (Central Black Sea Region). *Rend Fis Acc Lincei*, 28 (1), 11–23.

ITTO, 2019. Sustainable forest management. Uluslararası Tropik Ahşap Örgütü web sitesi, https://www.itto.int/sustainable_forest_management/ (24 Nisan 2019, 12:00).

Jain, M.K., Das, D., 2010. Estimation of sediment yield and areas of soil erosion and deposition for watershed prioritization using GIS and remote sensing. *Water Resources Management*, 24, 2091-2112.

Jiang, C., Zhang, H., Zhang, Z., 2018. Spatially explicit assessment of ecosystem services in China's Loess Plateau: Patterns, interactions, drivers, and implications. *Global and Planetary Change*, 161, 41-52.

Kahriman, A., 2011. Karadeniz Bölgesi sınırları içerisinde yer alan sarıçam (Pinus sylvestris L.) – doğu kayını (Fagus orientalis Lipsky) karışık meşcerelerine ilişkin büyüme modellerinin geliştirilmesi. Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 356 s.

Kahriman, A., Günlü, A., Karahalil, U., 2014. Estimation of crown closure and tree density using Landsat TM satellite images in mixed forest stands. *J Indian Soc Remote Sens*, 42 (3), 559-567.

Kalaycı, Ş., 2009. SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri. Asil Yayınevi, 9. Baskı, Ankara, 426 s.

Kalıpsız, A., 1982. Orman Hasılat Bilgisi. İstanbul Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 3052, İstanbul, 349 s.

Kandemir, E., 2010. Uzaktan algılama tekniğinde NDVI değerleri ile doğal bitki örtüsü tür dağılımı arasındaki ilişkilerin belirlenmesi üzerine araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 60 s.

Kandziora, M., Burkhard, B., Müller, F., 2013. Interactions of ecosystem properties, ecosystem integrity and ecosystem service indicators—A theoretical matrix exercise. *Ecological Indicators*, 28, 54-78.

Kantarcı, M.D., 1993. Türkiye'nin en önemli çevre sorunu toprak erozyonudur. Ormancılık Şurası, Tebliğler ve ön çalışma grubu raporları (Cilt 1), 1−5 Kasım 1993, Ankara, 465-475.

Kantarcı, M.D., 2000. Toprak ilmi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 462, İstanbul, 420 s.

Kapucu, F., 2004. Orman Amenajmanı. Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 215, Trabzon, 515 s.

Karaburun, A., 2010. Estimation of C factor for soil erosion modeling using NDVI in Buyukcekmece watershed. *Ozean J Appl Sci*, 3 (1), 77–85.

Karahalil, U., 2003. Toprak koruma ve odun üretimi fonksiyonlarının doğrusal programlama ile modellenmesi (Karanlıkdere Planlama Birimi Örneği). Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 84 s.

Karahalil, U., 2009. Korunan orman alanlarında amenajman planlarının düzenlenmesi (Köprülü Kanyon Milli Parkı Örneği). Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 173 s.

Karahalil, U., Keleş, S., Başkent, E.Z., Köse, S., 2009. Integrating soil conservation, water production and timber production values in forest management planning using linear programming. *African Journal of Agriculture Research*, 4 (11), 1241-1250.

Kayitakire, F., Hamel, C., Defourny, P., 2006. Retrieving forest structure variables based on image texture analysis and IKONOS-2 imagery. *Remote Sensing of Environment*, 102 (3−4), 390-401.

Kinnell, P.I.A., 2001. Slope length factor for applying the USLE−M to erosion in grid cells. *Soil and Tillage Research*, 58 (1−2), 11-17.

Kirkby, M.J., Jones, R.J.A., Irvine, B., Gobin, A., Govers, G., Cerdan, O., Van Rompaey, A.J.J., Le Bissonnais, Y., Daroussin, J., King, D., Montanarella, L., Grimm, M., Vieillefont, V., Puigdefabregas, J., Boer, M., Kosmas, C., Yassoglou, N., Tsara, M., Mantel, S., Van Lynden, G.J., Huting, J., 2004. Pan−European Soil Erosion Risk Assessment: The PESERA Map, Version 1 October 2003. Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.73 (S.P.I.04.73) European Soil Bureau Research Report No.16, EUR 21176, 18 s. ve 1 Harita (ISO B1 formatlı). Office for Official Publications of the European Communities, Lüksemburg.

Kirtiş, F., 2014. Rüzgar erozyonuyla mücadele ve şeritvari tarım. *Konya Toprak Su ve Çölleşme ile Mücadele Araştırma İstasyonu Müdürlüğü Toprak Su Dergisi*, 2, 35.

Knisel, W.G., 1980. CREAMS: A field-scale model for chemicals, runoff and erosion for agricultural management systems. ABD Tarım Bakanlığı, Koruma Araştırma Raporu, 26, ABD.

Kose, S., Baskent, E.Z., 1997. Thirty year history of even-aged management. *Journal of Sustainable Forestry*, 5 (3−4), 15-26.

Köse, S., Yolasığmaz, H.A., Sivrikaya, F., 2001. Ormanlarımızdaki fonksiyonların saptanması ve haritalanması. I. Ulusal Ormancılık Kongresi, 19−20 Mart, Bildiriler kitabı, 52-59, Ankara.

Köse, S., 2008. Sürdürülebilir Orman Yönetimi kriter ve göstergelerinin değerlendirmesi. Ders notu, Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, Trabzon.

Köse, S., 2017. Su kaynaklarının korunmasında ve içme−kullanma suyu temininde ormanların rolü. II. Uluslararası Su ve Sağlık Kongresi, 13−17 Şubat 2017, Antalya.

Kroth, W., Löffler, H., Timinger, J., 1976. Zur analyse forstbetrieblicher zielsysteme und methodik der entscheidung. Fw. Cbl. Berlin, 95 s.

Kumar, T., Jhariya, D.C., Pandey, H.K., 2019. Comparative study of different models for soil erosion and sediment yield in Pairi watershed, Chhattisgarh, India. *Geocarto International*, DOI: 10.1080/10106049.2019.1576779.

Kurt, B., Balkız, Ö., 2011. Kaçkar Dağları sürdürülebilir orman kullanımı ve koruma projesi, Kaçkar Dağları Yusufeli Bölgesi, ekosistem ve biyolojik çeşitlilik hususlarına dayalı bölgesel çok sektörlü yönetim planı. Türkiye Erozyonla Mücadele ve Ağaçlandırma Vakfı (TEMA), Portakal Basım, Ankara, 120 s.

Laflen, J.M., Moldenhauer, W.C., 2003. Pioneering soil erosion prediction – The USLE story. *World Association of Soil and Water Conservation*, Bejing.

Lakaria, B.L., Biswas, H., Mandal, D., 2008. Soil loss tolerance values for different physiographic regions of Central India. *Soil Use and Management*, 24 (2), 192-198.

Leh, M.D.K., Matlock, M.D, Cummings, E.C., Nalley, L.L., 2013. Quantifying and mapping multiple ecosystem services change in West Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 165, 6-18.

Li, L., Du, S., Wu, L., Liu, G., 2009. An overview of soil loss tolerance. *Catena*, 78 (2), 93-99.

Loague, K., Green, R.E., 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. *J Contam Hydrol*, 7, 51–73.

Lørup, J.K., Styczen, M., 1996. Soil Erosion Modeling. In M. B. Abbott and J. C. Refsgaard (eds), Distributed Hydrological Modeling, Kluwer Academic Yayınevi, Water Science and Technology Library, Vol. 22, 93–120, Dordrecht.

LTI, 2019. Laser Technology Inc. TruPulse360 laser range finder. http://www.lasertech.com/TruPulse-360-Rangefinder.aspx (18 Mart 2019, 11:30).

Mandal, D., Dadhwal, K.S., Khola, O.P.S., Dhyani, B.L., 2006. Adjusted T values for conservation planning in NW Himalayas of India. *Journal of Soil and Water Conservation*, 61 (6), 391-397.

Manvelidze, Z., Eminagaoglu, O., Memiadze, N., Kharazishvili, D., 2009. Conservation endemic plant species of Georgian−Turkish transboundary area. World Wildlife Fund, Tiflis, 56 s.

Markov, B., Nedkov, S., 2016. Mapping of erosion regulation ecosystem services. Proceedings in 6th International Conference on Cartography and GIS. 13−17 Haziran 2016, ss. 97-108, Albena, Bulgaristan.

Maroschek, M., Rammer, W., Lexer, M.J., 2015. Using a novel assessment framework to evaluate protective functions and timber production in Austrian mountain forests under climate change. *Reg Environ Change*, 15, 1543-1555.

MGM, 2019. Şavşat ve Olur iklim istasyonlarına ait veriler. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.

Mısır, M., 2001. Çok amaçlı orman amenajman planlarının Coğrafi Bilgi Sistemlerine dayalı olarak amaç programlama ile düzenlenmesi. Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 145 s.

Mısır, M., 2013. Landsat 7 ETM+ uydu görüntüleri kullanarak meşcere parametrelerinin tahmin edilmesi. Ormancılıkta Sektörel Planlamanın 50. Yılı Uluslararası Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 26−28 Kasım 2013, Antalya, 529-538.

Misir, N., Misir, M., Karahalil, U., Yavuz, H., 2007. Characterization of soil erosion and its implication to forest management. *Journal of Environmental Biology*, 28 (2), 185-191.

Mkhonta, M.M., 2000. Use of remote sensing and Geographic Information System (GIS) in the assessment of soil erosion in the Gwayimane and Mahhuku catchment areas with special attention on soil erodibility K-factor. Yüksek Lisans Tezi, Uluslararası Jeo−Bilişim Enstitüsü. Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands, 88 s.

Moore, I.D., Burch, G.J., 1986. Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Sci Soc Amer J*, 50, 1294-1298.

Morgan, R.P.C., Quinton, J.N., Smith, R.E., Govers, G., Poesen, J.W.A., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D., Styczen, M.E., 1998. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): A dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23, 527–44.

Morgan, R.P.C., 2005. Soil erosion & conservation (3. Baskı). Blackwell Yayınevi, Malden, ABD.

Morgan, R.P.C., Nearing, M.A., 2011. Handbook of erosion modelling. Blackwell Yayınevi, Birleşik Krallık.

MP, 2015. The Montreal Process: Criteria and indicators for the conservation and sustainable management of temperate and boreal forests (5. Baskı). Eylül 2015, Avustralya.

Mumcu Küçüker, D., 2015. Odun dışı orman ürünlerinin ekosistem tabanlı çok amaçlı planlara yansıtılması: Kanlıca mantarı (*Lactarius sp.*) örneği. Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 238 s.

Mumcu Kucuker, D., Baskent, E.Z., 2017. Impact of forest management intensity on mushroom occurence and yield with a simulation-based decision support system. *Forest Ecology and Management*, 389, 240-248.

NASA, 2013. Goddard Space Flight Center. Web sitesi: http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a030000/a030300/a030375 (2 Nisan 2019, 15:00).

Nearing, M.A., Foster, G.R., Lane, L.J., Finkner, S.C., 1989. A process-based soil erosion model for USDA–Water Erosion Prediction Project technology. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 32, 1587-1593.

Nearing, M.A., 2013. Soil Erosion and Conservation. In: Environmental Modelling: Finding Simplicity in Complexity. (2. Baskı). s. 365–378. doi:10.1002/9781118351475.ch22.

NFA, 1999. Conserving our Northern Forest for strong communities and future generations. Northern Forest Alliance, http://digitaljustice.com/lab/efp01/focus_areas/Northern%20Forest%20FY07%20Conservation%20Opportunities%20Publication.pdf (24 Nisan 2019, 8:00).

Niese, G., 2011. Österreichs Schutzwälder sind total überaltert. In: Waldinventur 2007/2009. BFW Praxis Information, 24, 29-31.

Nikkami, D., 2012. Investigating sampling accuracy to estimate sediment concentrations in erosion plot tanks. *Turk J Agric For*, 36, 583–590.

NRCS, 1999. National Soil Survey Handbook−Title 430-VI. Natural Resources Conservation Service (NRCS), ABD Tarım Bakanlığı (USDA), Washington.

OGM, 1989. İstanbul Bahçeköy Orman İşletme Şefliği Fonksiyonel Amenajman Planı (1989−2008). Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.

OGM, 2008. Orman amenajman yönetmeliği. Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı, Ankara.

OGM, 2010. Sürdürülebilir Orman Yönetimi kriter ve göstergeleri bilgi notu ve kılavuzu. Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.

OGM, 2012. Fonksiyonel amenajman planlaması arazi ve büro çalışmalarına ait teknik izahname. Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.

OGM, 2013. Veliköy Orman İşletme Şefliği Fonksiyonel Orman Amenajman Planı ve konumsal veri tabanı. Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.

OGM, 2014a. Orman hayattır broşürü. Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.

OGM, 2014b. Ekosistem tabanlı fonksiyonel orman amenajman planlarının düzenlenmesine ait usul ve esaslar (299 sayılı tebliğ−ilk basım). Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı, Ankara.

OGM, 2014c. Silvikültürel uygulamaların teknik esasları (298 sayılı tebliğ). Silvikültür Dairesi Başkanlığı, Ankara.

OGM, 2015a. Türkiye orman varlığı. Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.

OGM, 2015b. Olur Orman İşletme Şefliği Fonksiyonel Orman Amenajman Planı ve konumsal veri tabanı. Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.

OGM, 2017. Ekosistem tabanlı fonksiyonel orman amenajman planlarının düzenlenmesine ait usul ve esaslar (299 sayılı tebliğ−son basım), Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı, Ankara.

OGM, 2018. Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Düzköy, Akçaabat, Şalpazarı ve Vakfıkebir Orman İşletme Şeflikleri'ne ait orman amenajman planları (2018−2037) ve konumsal veri tabanları. Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.

OGM, 2019. 2018 yılı faaliyet raporu. Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.

OGM, 2020. Sürdürülebilir Orman Yönetimi Kriter ve Göstergeleri 2019 Türkiye Raporu. Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.

Oğuz, İ., Cebel, H., Özden, Ş., Ayday, E., Demiryürek, M., 2002. Türkiye üniversal denklem toprak kaybı eşitliği rehberi. KHGM, Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Şube Müdürlüğü, Ankara, 325 s.

Okutucu, M.A., 2007. Oltu Yaban Hayatı Geliştirme Sahası'nda yaban keçisi *Capra aegagrus* Erxleben, 1777 popülasyonları üzerine çalışmalar. Yüksek lisans tezi, Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kars.

Orhan, F., 2015. Şavşat'ın beşerî ve ekonomik coğrafyası (1. baskı). Şavşat Belediyesi Kültür Yayınları, Artvin.

OSİB, 2012. Erozyonla Mücadele Eylem Planı (2013−2017). Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.

Otrakçıer, T., 2008. Sürdürülebilir Orman Yönetimi kriter ve göstergeleri kavram notu. Orman Genel Müdürlüğü, Strateji Geliştirme Dairesi, Ankara.

Oudenhoven, A.P.E., Veerkamp, C.J., Alkemade, R., Leemans, R., 2015. Effects of different management regimes on soil erosion and surface runoff in semi-arid to sub-humid rangelands. *Journal of Arid Environments*, 121, 100-111.

ÖWAD, 2017. Indikatoren-Set für nachhaltige Waldbewirtschaftung. Zusammengestellt von Dr. Stefanie Linser, EFICEEC−EFISEE, c/o Inst. für Wald-, Umwelt- und Ressourcenpolitik, BOKU Wien im Auftrag des BMLFUWs, Viyana.

Özdemir, M., Serengil, Y., Yurtseven, İ., İnan, M., Pamukcu Albers, P., Tonbul, C., 2020. Ormanların su üretimi hizmetine yönelik yeni planlama yaklaşımı. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 7 (2), 162-178.

Özevren, E., Tekin, S.N., 2014. The integrated participatory watershed rehabilitation approach−Best practices from Turkey. *Planet@Risk*, 2 (4), 217–223.

Özhan, S., 2004. Havza Amenajmanı (Ders kitabı). İstanbul Üniversitesi Yayınları, Rektörlük Yayın No: 4510, İstanbul.

Özsoy, G., 2007. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri teknikleri kullanılarak erozyon riskinin belirlenmesi. Doktora tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 154 s.

Palahi, M., Pukkala, T., Bonet, J.A., Colinas, C., Fischer, C.R., Martínez de Aragón, J., 2009. Effect of the inclusion of mushroom values on the optimal management of even-aged pine stands of Catalonia. *For Sci*, 55 (6), 503-511.

Pamukcu, P., 2015. Ekosistem hizmetlerinin peyzaj planlama sürecine entegrasyonu. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 255 s.

Pan, J.H., Wen, Y., 2014. Estimation of soil erosion using RUSLE in Caijiamiao watershed China. *Nat Hazards*, 71 (3), 2187–2205.

Panagos, P., Meusburger, K., Ballabio, C., Borrelli, P., Alewell, C., 2014. Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS. *Science of the Total Environment*, 479, 189-200.

Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., Alewell, C., 2015. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*, 54, 438-447.

Pandey, A., Himanshu, S.K., Mishra, S.K., Singh, V.P., 2016. Physically based soil erosion and sediment yield models revisited. *Catena*, 147, 595-620.

Perovic, V., Jaramaz, D., Zivotic, L., Cakmak, D., Mrvic, V., Milanovic, M., Saljnikov, E., 2016. Design and implementation of WebGIS technologies in evaluation of erosion intensity in the municipality of NIS (Serbia). *Environ Earth Sci*, 75, 211.

Petter, P., 1992. GIS and remote sensing for soil erosion studies in semi-arid environments. Doktora tezi, University of Lund, Lund, 112 s.

Pimentel, D., Kounang, N., 1998. Ecology of soil erosion in ecosystems. *Ecosystems*, 1, 416-426.

Pimentel, D., 2006. Food and environmental threat of soil erosion. *J Env Dev Sustain*, 8, 119–137.

Pradhan, B., Chaudhari, A., Adinarayana, J., Buchroithner, M.F., 2011. Soil erosion assessment and its correlation with landslide events using remote sensing data and GIS: a case study at Penang Island, Malaysia. *Environ Model Asses*, 184, 80–85.

Prasannakumar, V., Vijith, H., Abinod, S., Geetha, N., 2012. Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology. *Geoscience Frontiers*, 3 (2), 209-215.

Prasuhn, V., Liniger, H., Gisler, S., Herweg, K., Candinas, A., Clement, J.P., 2013. A high-resolution soil erosion risk map of Switzerland as strategic policy support system. *Land Use Policy*, 32, 281-291.

Quadt, V., van der Maaten-Theunissen, M., Frank, G., 2013. Integration of nature protection in Austrian forest policy. INTEGRATE Country Report for Austria. EFICENT−OEF, Freiburg.

Rametsteiner, E., Simula M., 2003. Forest certification − an instrument to promote sustainable forest management? *Journal of Environmental Management*, 67, 87-98.

Renard, K.G., Freimund, J.R., 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *J Hydrol*, 157, 287–306.

Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C., 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Agricultural Handbook, vol. 703, ABD Tarım Bakanlığı, Washington.

Renard, K.G., Foster, G.R., 1998. R factor-rainfall/runoff erosivity. In: Galetevic. J.R (ed) Guidelines for the use of the revised universal soil loss equation (RUSLE) version 1.06 on mined lands, construction sites and reclaimed lands. The Office of Technology Transfer Western Regional Coordinating Center Office of Surface Mining, Denver, CO, s 2.1-2.8.

Renard, K.G., Yoder, D.C., Lightle, D.T., Dabney, S.M., 2011. Universal Soil Loss Equation and Revised Universal Soil Loss Equation, In: Morgan R.P.C., Nearing M.A. (eds) Handbook of erosion modelling (İlk baskı), Blackwell Yayınevi, Massachusetts, 137–167.

Resolution H1, 1993. General guidelines for the sustainable management of forests in Europe. Second Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, 16−17 Haziran 1993, Helsinki.

Resolution L2, 1998. Pan−European operational level guidelines for sustainable forest management. Third Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, 2−4 Haziran 1998, Lizbon.

Richards, J.A., 2013. Remote sensing digital image analysis: An introduction. Springer Yayınevi, Berlin.

Roces-Diaz, J.V., Vayreda, J., Banque-Casanovas, M., Cuso, M., Anton, M., Bonet, J.A., Brotons, L., Caceres, M.D., Herrando, S., de Aragon, J.M., de-Miguel, S., Martinez-Vilalta, J., 2018. Assessing the distribution of forest ecosystem services in a highly populated Mediterranean region. *Ecological Indicators*, 93, 986-997.

Römkens, M.J.M., Prasad, S.N., Poesen, J.W.A., 1986. Soil erodibility and properties. Trans XIII Congr of the Int Soc of Soil Sci, 5, 492-504, Hamburg.

Ryan, P.J., McKenzie, N.J., Murphy, S., 1998. Assessing soil erosion hazard for Australian forest management. Canberra, ACT: CSIRO Forestry and Forest Products, Avustralya, 114 s.

Saleh, A., 1993. Soil roughness measurement: Chain method. *J Soil Water Conserv*, 48, 527-529.

San-Miguel-Ayanz, J., Parviainen, J., Schuck, A., Bücking, W., 2011. Maintenance and appropriate enhancement of protective functions in forest management (notably soil and water). In: State of Europe's forests 2011 − Status & trends in sustainable forest management in Europe. Birleşmiş Milletler, Aas, Norveç.

Sarı, M., 1997. Türkiye'deki hatalı ve yanlış arazi kullanımının boyutları ve erozyonla olan ilişkileri. Türkiye Erozyonla Mücadele ve Ağaçlandırma (TEMA) Vakfı eğitim kursları, 25 s.

Sarıyıldız, T., Tüfekçioğlu, A., Küçük, M., 2005. Comparison of decomposition rates of beech (Fagus orientalis Lipsky) and spruce (Picea orientalis (L.) Link) litter in püre and mixed stands of both species in Artvin, Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29, 429-438.

Sarıyıldız, T., Küçük, M., 2008. Litter mass loss rates in decidiuous and coniferous trees in Artvin Northeast Turkey: Relationships with litter quality, microclimate, and soil characteristics. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32, 547-559.

Savaşan, T., 1999. Fonksiyonel planlama. Fethiye'de yapılan orman amenajmanı ile ilgili toplantı bildirileri. 22−26 Şubat 1999, Fethiye, 123-131.

Sawa, T., 1978. Information criteria for discriminating among alternative regression models. *Econometrica*, 46, 1273–1282.

Saygın, S.D., Özcan, A.U., Başaran, M., Timur, O.B., Dolarslan, M., Yılman, F.E., Erpul, G., 2014. The combined RUSLE/SDR approach integrated with GIS and geostatistics to estimate annual sediment flux rates in the semi-arid catchment, Turkey. *Environ Earth Sci*, 71, 1605–1618.

Schmidt, S., Alewell, C., Meusburger, K., 2018. Mapping spatio-temporal dynamics of the cover and management factor (C-factor) for grasslands in Switzerland. *Remote Sensing of Environment*, 211, 89-104.

Schmidt, S., Tresch, S., Meusburger, K., 2019. Modification of the RUSLE slope length and steepness factor (LS-factor) based on rainfall experiments at steep alpine grasslands. *MethodsX*, 6, 219-229.

Schumacher, B.A., 2002. Methods for the determination of total organic carbon in soils and sediments. ERASC, NCEA-C-1281, 23 s.

Schwarz, G., 1978. Estimating the dimension of a model. *Ann Stat*, 6, 461–464.

Shi, Z.H., Cai, C.F., Ding, S.W., Li, Z.X., Wang, T.W., Sun, Z.C., 2002. Assessment of erosion risk with the RUSLE and GIS in the middle and lower reaches of Hanjiang River. 12th ISCO Conference, Beijing.

Singh, T.V., Kaur, J., 1989. Studies in Himalayan ecology and development strategies. New Delhi: Himalayan.

Smith, S.V., Bullock, S.H., Hinojosa-Corona, A., Franco-Vizcaino, E., Escoto-Rodriguez, M., Kretzschmar, T.G., Farfan, L.M., Salazar-Cesena, J.M., 2007. Soil erosion and significance for carbon fluxes in a mountainous Mediterranean-climate watershed. *Ecological Applications*, 17 (5), 1379-1387.

Sönmez, T., 2014. Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) gelişimi üzerine ökseotunun etkisi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 15 (1), 64-72.

SPSS, 2012. SPSS 20,0 for Windows. Statistical Package for the Social Sciences Inc, New York.

Steinhoff-Knopp, B., Burkhard, B., 2018. Mapping control of erosion rates: Comparing model and monitoring data for croplands in Northern Germany. *One Ecosystem*, 3:e26382, DOI: 10.3897/oneeco.3.e26382.

Suriyaprasit, M., Shrestha, D.P., 2008. Deriving landuse and canopy cover factor from remote sensing and field data in inaccessible mountainous terrain for use in soil erosion modelling. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37 (B7), 1747-1750.

Syrbe, R.U., Schorcht, M., Grunewald, K., Meinel, G., 2018. Indicators for a nationwide monitoring of ecosystem services in Germany exemplified by the mitigation of soil erosion by water. *Ecological Indicators*, 94, 46-54.

Şahin, A., 2015. Mersin yöresi saf kızılçam (*Pinus brutia Ten.*) meşcerelerinde hasılat araştırmaları. Doktora tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.

Şengönül, K., Şahin, A., 2017. Toprak koruma fonksiyonlu ormanların ayrılma kriterleri ve amaç kuruluşlarının belirlenmesi esasları. 2023'e Doğru 4. Doğa ve Ormancılık Sempozyumu, 3−6 Aralık 2017, Antalya, 429-449.

Tang, Q., Xu, Y., Bennett, S.J., Li, Y., 2015. Assessment of soil erosion using RUSLE and GIS: a case study of the Yangou watershed in the Loess Plateau, China. *Environ Earth Sci*, 73, 1715–1724.

Tejada, M., Gonzalez, J.L., 2006. The relationships between erodibility and erosion in a soil treated with two organic amendments. *Soil Tillage Resources*, 91, 186-198.

TEMA, 2015. Geleceğimiz için sürdürülebilir tarım, sağlıklı topraklar. Türkiye Erozyonla Mücadele ve Ağaçlandırma Vakfı (TEMA) basın bülteni, http://tema.org.tr/web_14966-

2_1/entitialfocus.aspx?primary_id=1463&target=categorial1&type=2&detail=single (14 Ocak 2019, 18:00).

Thomsen, L.M., Baartman, J.E.M., Barneveld, R.J., Starkloff, T., Stolte, J., 2015. Soil surface roughness: comparing old and new measuring methods and application in a soil erosion model. *Soil*, 1, 399-410.

TOD, 2019. Türkiye Ormancılığı: 2019. Kuban Matbaacılık Yayıncılık, ISBN: 978-975-93478-4-0, Ankara, 184 s.

Torri, D., Poesen, J., Borselli, L., 1997. Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset. *Catena*, 31, 1-22.

Torri, D., Poesen, J., Borselli, L., 2002. Corrigendum to ‘‘Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset’’[*Catena* 31 (1997) 1–22] and to ‘‘Erratum to Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset’’[*Catena* 32 (1998) 307–308].

Toy, T.J., Foster, G.R., 1998. Guidelines for the use of the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) version 1.06 (Chapter 5). http: faculty.cveg.uark.edu (19 Aralık 2018, 11:00).

Toy, T.J., Foster, G.R., Renard, K.G., 1999. RUSLE for mining, construction and reclamation lands. *J Soil Water Conserv*, 54 (2), 462–467.

TRGM, 2014. Büyük Toprak Grupları sayısal veri tabanı. Tarım Reformu Genel Müdürlüğü, Ankara.

Trimble, S.W., Mendel, A.C., 1995. The cow as a geomorphic agent: a critical review. *Geomorphology*, 13, 233–253.

Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, *Remote Sensing of Environment*, 8 (2), 127-150.

Tufekcioglu, M., Isenhart, T.M., Schultz, R.C., Bear, D.A., Kovar, J.L., Russell, J.R., 2012. Stream bank erosion as a source of sediment and phosphorus in grazed pastures of the Rathbun Lake Watershed in Southern Iowa, USA. *Journal of Soil Water Conservation*, 67 (6), 545-555.

Tufekcioglu, M., Yavuz, M., Vatandaslar, C., Dinc, M., Duman, A., Tufekcioglu, A., 2018. Assessing and mapping erosion risk for Velikoy sub-watershed within Coruh River Basin in Turkey. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4 (2), 210-220.

Tüfekçioğlu, A., Tüfekçioğlu, M., Hacikamiloğlu, I., Duman, A., Dinç, M., 2015. Artvin ili Yusufeli ilçesinde meraların ve hayvancılığın mevcut durumunun değerlendirilmesi. In: Demirel F. (editör) Yusufeli barajının ilçeye etkileri: mevcut durum, potansiyel, gelecek. Yusufeli Belediyesi Yayınları, Yusufeli, 125-152.

Tüfekçioğlu, M., Yavuz, M., 2016. Estimating surface soil erosion losses and mapping erosion risk for Yusufeli micro-catchment (Artvin). *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17 (2), 188-199.

TÜİK, 2019. Adrese dayalı nüfus sistemi 2019 yılı nüfus sayım sonuçları. T.C. Başbakanlık, Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara.

UEP, 2006. Çölleşme ile Mücadele Türkiye Ulusal Eylem Planı. Çölleşme ile Mücadele Ulusal Koordinasyon Birimi, Çevre ve Orman Bakanlığı Yayınları No: 250, Ankara, 124 s.

UEP, 2015. Çölleşme ile Mücadele Ulusal Strateji ve Eylem Planı (2015−2023). Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara, 148 s.

UKFC, 2011. Forests and soil. UK Forestry Standard Guidelines. Forestry Commission, Edinburgh, i–iv + 1–60 s.

UKFC, 2017. The UK forestry standard. Forestry Commission, Edinburgh, 232 s.

UNCED, 1992. Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı Raporu. Ek 3: Ormancılık İlkeleri, Birleşmiş Milletler, New York.

UNFCCC, 2013. Elements and options for national Measurable, Reportable, Verifiable (MRV) systems. International Partnership on Mitigation and MRV, United Nations Framework Convention on Climate Change, New York.

URL-1, 2015. Types of soil erosion gully. https://learn.e-limu.org/topic/view/?t=1238&c=422 (5 Ocak 2020, 21:42).

URL-2, 2011. Erozyon. http://tr.wikipedia.org/wiki/Erozyon (18 Temmuz 2020, 12:00).

URL-3, 2018. Landsat uydu verilerinin ücretsiz indirilebildiği Earth Explorer web sitesi. https://earthexplorer.usgs.gov (19 Temmuz 2018, 10:00).

USDA, 1983. Sediment sources, yields and delivery ratios (Chapter 6). In: United States Department of Agriculture, Soil Conservation Services, National Engineering Handbooks Section 3, Washington.

USDA, 1987. Soil Mechanics Level 1 Module 3 USDA Textural Classification Study Guide. United States Department of Agriculture, Washington.

UVM, 2019. Revised Universal Soil Loss Equation methodology. The University of Vermont (UVM) Spatial Analysis Lab Server, Burlington, ABD, https://www.uvm.edu/rsenr/sal/madripar/madripar_methods.html (25 Kasım 2019, 12:00).

Uzunsoy, O., Görcelioğlu, E., 1985. Havza ıslahında temel ilke ve uygulamalar. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 371, İstanbul.

Vatandaşlar, C., 2012. Orman yollarının doğal afetlerde acil ulaşım yolu olarak kullanım olanakları. Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Vatandaşlar, C., 2015. Toprak erozyonu risk analizinde bitki örtüsü ve ürün yönetimi faktörünün (C-faktör) uzaktan algılama yöntemleriyle tahmini. Yüksek lisans tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.

Vatandaşlar, C., Yavuz, M., 2017. Modeling cover management factor of RUSLE using very high resolution satellite imagery in a semiarid watershed. *Environmental Earth Sciences*, 76, 65.

Vatandaşlar, C., Yavuz, M., Leuchner, M., 2020. Erosion control service of forest ecosystems: A case study from the northeastern Turkey. In: Smart Geography, Springer, İsviçre.

Verheijen, F.G.A., Jones, R.J.A., Rickson, R.J., Smith, C.J., 2009. Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. *Earth-Science Reviews*, 94, 23-38.

Walling, D.E., 2013. The evolution of sediment source fingerprinting investigations in fluvial systems. *J Soil Sci*, 13, 1658–1675.

WCED, 1987. Our common future (Brundtland raporu). Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu, Birleşmiş Milletler, New York.

WFPB, 1992. Watershed analysis manual: standard methodology for conducting watershed analysis. Washington forest practice act board manual TFW-CEI-92-002, Timber Fish&Wildlife, Washington.

Winchell, M.F., Jackson, S.H., Wadley, A.M., Srinivasan, R., 2008. Extension and validation of a geographic information system-based method for calculating the revised universal soil loss equation length-slope factor for erosion risk assessments in large watersheds. *J Soil Water Conserv*, 63, 105–111.

Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses−A guide to conservation planning. In: Agriculture Handbook, ABD Tarım Bakanlığı, Bilim ve Eğitim Birimi Yayınları, Washington DC.

Yavuz, H., 1992. Değişik yaşlı meşcerelerde büyümenin Markov zincirleri yöntemi ile analiz edilmesi. Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 230 s.

Yavuz, M., Vatandaşlar, C., 2017. Integrating soil protection function into forest management and planning. International Symposium on New Horizons in Forestry, 18−20 Ekim 2017, Isparta.

Yavuz, M., Vatandaşlar, C., 2018. Korunan alanlardaki zamansal ve ekolojik değişimin parçalılık analizi yardımıyla izlenmesi: Karagöl−Sahara Milli Parkı örneği. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 5 (1), 82-96.

Yavuz, M., 2018. Erozyon risk harita sonuçları. Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi Çalıştayı, 29 Ocak–1 Şubat 2018, Mardin.

Yavuz, M., Tufekcioglu, M., 2019. Estimating surface soil losses in the mountainous semi-arid watershed using RUSLE and geospatial technologies. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28 (4), 2589-2598.

Yavuz, M., Tüfekçioğlu, M., 2019. Erozyon−risk harita yöntem ve sonuçları. SD3 İzleme ve Değerlendirme Sunumu, Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi kapanış toplantısı, 26−27 Eylül 2019, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin.

Yılman, E.F., 2009. Eldivan Sarayköy−II Göleti (Çankırı) su toplama havzasında RUSLE yöntemi ile toprak kayıplarının tahmin edilmesi. Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 142 s.

Yılmaz, E., 2006. Çamlıdere Barajı Havzası'nda erozyon problemi ve risk analizi. Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Yilmaz, M., Usta, A., Altun, L., Tilki, F., 2007. Effects of land-use regime on soil erodibility indices and soil properties in Unye, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 16 (12), 1638-1644.

Yilmaz, M., Usta, A., Çakir, G., İnce Kahveci, S.N., 2015. The effects of land use type on soil erodibility indices in Galyan−Atasu Dam Watershed, Trabzon, N.E. Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24 (3), 1082-1090.

Yolasığmaz, H.A., 2004. Orman ekosistem amenajmanı kavramı ve Türkiye'de uygulaması (Artvin Merkez Planlama Birimi Örneği). Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Trabzon, 229 s.

Zhang, H., Sun, Y., Cheng, Y., Cheng, J., 2006. Effect on surface runoff coefficient of different vegetation types in Jinyun mountain of Chongqing. *J Soil Water Conserv*, 20 (6), 11–14.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı	: VATANDAŞLAR, Can
Uyruğu	: T.C.
Doğum Tarihi ve Yeri	: 04/10/1985 – Üsküdar
Medeni Hali	: Evli
Yabancı Dil	: İngilizce (2019 YDS: 92,50; 2017 YÖKDİL: 96,25)
Telefon	: 0 (532) 256 43 70
Faks	: –
e-mail	: canvatandas@hotmail.com

Eğitim Bilgileri

Derece	**Eğitim Birimi**	**Mezuniyet Tarihi**
Lise	Haydarpaşa Anadolu Lisesi	Haziran 2003
Üniversite	İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü	Şubat 2009
Yüksek Lisans	İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. Orman İnşaatı ve Transportu A.B.D.	Haziran 2012
Yüksek Lisans	Artvin Çoruh Üniv. Fen Bilimleri Enst. Orman Mühendisliği A.B.D.	Ocak 2015
Doktora	Artvin Çoruh Üniv. Lisansüstü Eğitim Enst. Orman Mühendisliği A.B.D.	Aralık 2020

Yayınlar

Kitap Bölümleri

Vatandaşlar, C., Yavuz, M., Leuchner, M., 2020. Erosion control service of forest ecosystems: A case study from the northeastern Turkey. In: Nedkov, S., Zhelezov, G., Ilieva, N., Nikolova, M., Koulov, B., Naydenov, K., Dimitrov, S. (ed.). Smart Geography. Switzerland, Springer International Publishing, s 443-455.

Dergilerde Makaleler

Vatandaşlar, C., Zeybek, M., 2020. Application of handheld laser scanning technology for forest inventory purposes in the NE Turkey. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 44, 229-242.

Vatandaşlar, C., Keleş, C., Fosso, L.C., Karahalil, U., 2019. Analyzing the effects of different management strategies on forest biomass carbon loss using linear programming. Siberian Journal of Forest Science, N1, 65-72.

Dinc, M., Vatandaşlar, C., 2019. Analyzing carbon stocks in a Mediterranean forest enterprise: A case study from Kızıldag, Turkey. CERNE, 25(4), 402-414.

Yavuz, M., Vatandaşlar, C., 2018. Monitoring temporal and ecological changes in protected areas with fragmentation analysis: A case study from Karagöl−Sahara National Park. Turkish Journal of Forestry Research, 5 (1), 82-96 (Türkçe).

Dinç, M., Vatandaşlar, C., Duman, A., Tüfekçioğlu, M., Küçük, M., Açikgöz Harşit, C., Tüfekçioğlu, A., 2018. Estimating biomass and carbon storage of grasslands using very high-resolution satellite images in the Coruh River Basin (Northeastern Turkey). Fresenius Environmental Bulletin, 27 (8), 5509-5519.

Tüfekçioğlu, M., Yavuz, M., Vatandaşlar, C., Dinç, M., Duman, A., Tüfekçioğlu, A., 2018. Assessing and mapping erosion risk for Velikoy sub-watershed within Coruh River Basin in Turkey. Journal of Natural Hazards and Environment, 4 (2), 210-220.

Vatandaşlar, C., Yavuz, M., 2017. Modeling cover management factor of RUSLE using very high resolution satellite imagery in a semiarid watershed. Environmental Earth Sciences, 76, 65.

Yavuz, M., Vatandaşlar, C., Özyanik, M., Keleş, G.A., 2017. Determination of the optimum observation points for Brown bear (*Ursus arctos*) inventory using GIS in Savsat, Turkey. International Journal of Ecosystems and Ecology Sciences, 7, 1-21.

Vatandaşlar, C., Demir, M., 2016. Opportunities of forest roads usage as emergency access road for natural disaster. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 66 (2), 369-378 (Türkçe).

Bildiriler

Vatandaşlar, C., Yavuz, M., 2019. Assessing erosion control ecosystem service of Olur State Forest Enterprise. In: Proceedings of International Soil Congress 2019, 15−18 Haziran, Ankara.

Vatandaşlar, C., Yavuz, M., 2018. Useful indicators for assessing erosion prevention service of forest ecosystems. In: International Conference Smart Geography, 2−4 Kasım, Sofya.

Semerci, A., Vatandaşlar, C., Özdemir, A., 2018. Intensive tree mortality of Taurus Fir (*Abies cilicica*) in Mediterranean forests of Turkey. In: International Ecology 2018 Symposium, 19−23 Haziran, Kastamonu.

Açikgöz Harşit, C., Vatandaşlar, C., Tüfekçioğlu, A., 2018. Impacts of climate change on the upper tree line in the eastern Blacksea region in Turkey. In: International Ecology 2018 Symposium, 19−23 Haziran, Kastamonu.

Tüfekçioğlu, M., Yavuz, M., Duman, A., Dinç, M., Vatandaşlar, C., Tüfekçioğlu, A., 2018. Estimating surface soil erosion using coupled RUSLE and GIS methodology in the Coruh River Basin, Turkey. In: International Ecology 2018 Symposium, 19−23 Haziran, Kastamonu.

Yavuz, M., Vatandaşlar, C., 2018. Mapping forestland using different satellite images and various classification techniques: A case study from Şavşat-Karaköy. In: International Ecology 2018 Symposium, 19−23 Haziran, Kastamonu.

Vatandaşlar, C., Keleş, C., Fosso, L.C., Karahalil, U., 2017. Determining the effects of alternative management strategies on carbon loss from forest biomass using modeling. In: International Forestry and Environment Symposium, 7−10 Kasım, Trabzon.

Tüfekçioğlu, M., Yavuz, M., Dinç, M., Duman, A., Vatandaşlar, C., Tüfekçioğlu, A., 2017. Estimating surface soil erosion using RUSLE methodology. In: IV. International Multidisciplinary Congress of Eurasia, 23−25 Ağustos, Roma.

Yavuz, M., Vatandaşlar, C., 2017. Integrating soil erosion prevention activities into forest management plans: a review. In: International Symposium on New Horizons in Forestry, 18−20 Ekim, Isparta.

Çelik, D.A., Vatandaşlar, C., Sarı, B., Şahin, A., 2017. Temporal changes in forest ecosystem dynamics: Borçka Planning Unit. In: International Symposium on New Horizons in Forestry, 18−20 Ekim, Isparta.

Yavuz, M., Keleş, G.A., Vatandaşlar, C., 2016. Determination of the potential observation points for Brown bear (*Ursus Arctos*) inventory: A case study from Northeastern Turkey. In: International Conference of Ecosystems (ICE2016), 3−6 Haziran, Tirana.