

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TOPRAK KORUMA FONKSİYONLU KIZILÇAM ORMANLARINDA AKTÜEL MEŞCERE
KURULUŞLARININ ORTAYA KONMASI: AKDENİZ BÖLGESİ ÖRNEĞİ

DOKTORA TEZİ

Süleyman BORUCU

KASIM 2024

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

ÖNSÖZ

Bu çalışma, “Toprak Koruma Fonksiyonlu Kızılçam Ormanlarında Aktüel Meşcere Kuruluşlarının Ortaya Konması: Akdeniz Bölgesi Örneği” başlığıyla, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı’nda bir doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışma konusu seçiminden Tez çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübesinden yaralandığım, çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren Sayın Hocam Doç. Dr. Uzey KARAHALİL’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, çalışmanın gerçekleştirilmesinde önemli katkılar sağlayan Tez İzleme Komitesi üyeleri Prof. Dr. Mehmet MISIR ve Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ hocalarıma teşekkür ederim. Değerli görüş ve önerileriyle destekleyen Sayın Hocam Prof. Dr. Selahattin KÖSE’ye ayrıca teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca yardım ve desteklerini hiç esirgemeyen Şenyuva Orman İşletme Şefliği personeline, katkılarından ötürü ayrıca Orman Amenajman Anabilim Dalı’nda Arş. Gör. Abdullah YILDIZ’a teşekkürlerimi iletiyorum.

Çok değerli büyüğüm Orman Mühendisi Sayın Halil YILDIRIM’a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışma verilerinin temininde bize ulaşmasını sağlayan, süreci takip ve kontrol ederek her türlü yardımda bulunan Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı’na teşekkürü bir borç bilirim. Veri temininde bulunan Çölleşme ve Erozyon Genel Müdürlüğüne teşekkür ederim.

Son olarak, hayatım boyunca yanımda olan ve desteğini bir an bile esirgemeyen Değerli eşim Semra BORUCU’ya, hayatıma anlam katan evlatlarıma ve desteklerinden dolayı anneme, babama ve kardeşlerime sonsuz şükranlarımı sunarım.

Süleyman BORUCU

Trabzon 2024

TEZETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Toprak Koruma Fonksiyonlu Kızılçam Ormanlarında Aktüel Meşcere Kuruluşlarının Ortaya Konması: Akdeniz Bölgesi Örneği” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Uzay KARAHALİL’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, 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. 15/11/2024

Süleyman BORUCU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Orman Fonksiyonları.....	4
1.3. Ülkemizde Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Planlama Süreci.....	8
1.4. Erozyonu Önleme Fonksiyonlu Alanların Ayrılması.....	11
1.5. İşletme Sınıfı, Optimal Kuruluş ve Meşcere Kuruluşu.....	12
1.6. Toprak Kaybı ve Meşcere Bileşenleri İlişkisi.....	16
1.7. Toprak Kaybını Belirleme Yöntemleri.....	24
1.8. Toprak Kaybının Uzaktan Algılama Teknikleri Yardımıyla Belirlenmesi.....	33
1.9. Sentinel-2 Uydu Görüntüleri ve Özellikleri.....	36
1.10. NDVI.....	38
1.11. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	41
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	43
2.1. Çalışma Alanı.....	43
2.2. Veri Kaynakları.....	46
2.2.1. Meşcere Bileşenlerinin Temin Edilmesi.....	46
2.2.2. Toprak Kaybı Değerlerinin Temin Edilmesi.....	47
2.2.3. Sentinel-2 Uydu Görüntü Verileri.....	53
2.3. Çalışmada Kullanılan Yazılımlar.....	54
2.3.1. Çalışmada Kullanılan Diğer Yardımcı Veri Kaynakları.....	57
2.4. Yöntem.....	57

2.4.1. Veri Tabanı Tasarımı ve Kurulumu	58
2.4.2. Sistem Tasarımı.....	60
2.4.3. Uydu Görüntülerinin Analizi	60
2.4.4. Uydu Görüntülerinin Birleştirilmesi	61
2.4.5. NDVI Hesaplama	63
2.4.6. C Faktörünün Hesaplanması	64
2.5. Örneklem Alanı Verilerinin İşlenmesi.....	65
3. BULGULAR	67
3.1. Genel Çıktılar.....	67
3.1.1. Yaş Sınıflarına Göre Meşcere Bileşenleri ve Toprak Kaybı Değerleri.....	69
3.1.2. Gelişme Çağlarına Göre Meşcere Bileşenleri ve Toprak Kaybı Değerleri.....	72
3.1.3. Eğim Gruplarına Göre Meşcere Bileşenleri ve Toprak Kaybı Değerleri.....	79
3.1.4. Bakı Sınıflarına Göre Meşcere Bileşenleri ve Toprak Kaybı Değerleri	82
3.1.5. Toprak Kaybı Yöntemlerinin Analizi	85
3.2. Karaburun (2010) Yöntemi İle Yaş Sınıflarına Göre Veri Analizi	86
3.2.1. Yaş Sınıfı- Kapalılık Analizi.....	86
3.2.2. Yaş Sınıfı- Bonitet Analizi	89
3.2.3. Yaş Sınıfı-Gelişme Çağı Analizi.....	93
3.3. Karaburun (2010) Yöntemi İle Eğim Gruplarına Göre Veri Analizi	97
3.3.1. Eğim Grubu- Kapalılık Analizi.....	97
3.3.2.Eğim Grubu- Bonitet Analizi	99
3.3.3. Eğim Grubu - Gelişme Çağı Analizi.....	104
3.4. Karaburun (2010) Yöntemi İle Bonitete Göre Veri Analizi	109
3.4.1. Bonitet - Kapalılık Analizi.....	109
3.4.2. Bonitet - Gelişme Çağı Analizi	112
4. TARTIŞMA	116
4.1. Genel Çıktıların Tartışılması	116
4.1.1. Yaş Sınıflarına Göre Genel Çıktıların Tartışılması.....	116
4.1.2. Gelişme Çağlarına Göre Genel Çıktıların Tartışılması.....	119
4.1.3. Eğim Gruplarına Göre Genel Çıktıların Tartışılması	123
4.1.4. Bakı Gruplarına Göre Genel Çıktıların Tartışılması.....	124
4.2. Karaburun (2010) 'a Göre Hesaplanan Toprak Kaybı Değerlerinin Yaş Sınıfları Kapsamında Tartışılması.....	125

4.2.1. Yaş sınıfı- Kapalılık	125
4.2.2. Yas Sınıfı – Bonitet.....	126
4.2.3. Yaş Sınıfı – Gelişme Çağı	127
4.2.4. Yaş Sınıflarına Tam Kapalı Meşcerelerde Göre Aktüel - Optimal Karşılaştırması.....	128
4.2.5. Karaburun (2010)’a Göre Hesaplanan Toprak Kaybı Değerlerinin Yaş Sınıfları Kapsamında Değerlendirilmesi	132
4.3. Karaburun (2010)’a Göre Hesaplanan Toprak Kaybı Değerlerinin Eğim Grupları Kapsamında Tartışılması	134
4.3.1. Eğim Grubu – Kapalılık.....	134
4.3.2. Eğim Grubu – Bonitet	139
4.3.3. Eğim Grubu – Gelişme Çağı.....	140
4.3.4. Karaburun (2010)’a Göre Hesaplanan Toprak Kaybı Değerlerinin Eğim Sınıfları Kapsamında Tartışılması.....	141
4.4. Karaburun (2010)’a Göre Hesaplanan Toprak Kaybı Değerlerinin Bonitet Sınıfları Kapsamında Tartışılması	144
4.4.1. Bonitet – Kapalılık	144
4.4.2. Bonitet – Gelişme Çağı	146
4.4.3. Karaburun (2010)’a Göre Hesaplanan Toprak Kaybı Değerlerinin Bonitet Sınıfları Kapsamında Tartışılması.....	148
5. SONUÇLAR.....	150
6. ÖNERİLER	157
7. KAYNAKLAR.....	160
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

TOPRAK KORUMA FONKSİYONLU KIZILÇAM ORMANLARINDA AKTÜEL MEŞCERE
KURULUŞLARININ ORTAYA KONMASI: AKDENİZ BÖLGESİ ÖRNEĞİ

Süleyman BORUCU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Uzay KARAHALİL
2024, 169 Sayfa

Toprak oluşumu uzun sürerken, mevcut toprak yapısının bozulması ve verimli alanların insan etkisiyle hızla azalması, çevresel sürdürülebilirliği tehdit etmektedir. Ülkemizde orman tahribatı, toprak kaybını hızla artırmakta, bu da ormanların korunması ve bilimsel verilere dayalı planlanmasını zorunlu hale getirmektedir. Bu çalışmada, Akdeniz Bölgesi'nde toprak koruma sınıfına ayrılan Kızılçam meşcere kuruluşları analiz edilmiştir. Bu amaçla dört farklı yöntem kullanılarak "bitkisel örtü faktörü" (C) değerleri hesaplanmış, sonrasında RUSLE yardımıyla hesaplanan C faktörleri ve ayrıca C'den arındırılmış yani önlenen toprak kaybı değerleri ortaya konmuş, farklı meşcere bileşenleri arasındaki ilişkiler analiz edilmiş ve sonuçta farklı orman kuruluşlarının toprak koruma üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde; VII. yaş sınıfının (120-140 yıl), en yüksek toprak koruma kapasitesine sahip olduğu, bu yaştan sonra önlenen toprak kaybı değerlerinde hızla düşüş gözlemlendiği, tam kapalı meşcerelerde VII. yaş sınıfında ve I. bonitetteki meşcerelerin, 1057 ton/ha/yıl ile en yüksek erozyon önleme miktarına ulaştığı, eğim arttıkça toprak kaybının da artma eğilimi gösterdiği, %50'nin üzerinde eğime sahip alanlardaki ormanların, önlenen toprak kaybı değerlerinin öne çıktığı tespit edilmiştir. Gelişme çağları dikkate alındığında; "d" çağında toprak kaybının 146 ton/ha/yıl olduğu, önlenen toprak kaybı değerinin ise 747 ton/ha/yıl'a kadar çıktığı, bonitet sınıfları irdelendiğinde ise; I. bonitet ve VII. yaş sınıfındaki meşcerelerin en yüksek önlenen toprak kaybı miktarına (1010 ton/ha/yıl) ulaştığı belirlenmiştir. Sonuç olarak; ortaya konan çıktıların, karar verme süreçlerinde önemli altlık sunarak, ormanların planlanmasında bilimsel temelli kararların alınmasına katkı sağlayacağı ve özellikle toprak koruma işletme sınıflarının ayrılmasında rehber olabileceği değerlendirilmiştir. Benzer çalışmaların farklı ağaç türleri ve bölgeleri de içine alacak şekilde yaygınlaştırılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Orman Amenajmanı, Amenajman Planları, Orman Fonksiyonları RUSLE, Meşcere bileşenleri, Coğrafi bilgi sistemleri, Veri tabanı*

SUMMARY

CURRENT STAND STRUCTURES OF TURKISH RED PINE (*Pinus brutia* Ten.) FORESTS ALLOCATED FOR SOIL CONSERVATION VALUE IN MEDITERRANEAN REGION

Süleyman BORUCU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Forest Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Uzay KARAHALİL
2024, 169 Pages

The long process of soil formation, along with the degradation of existing soil structures and the rapid decline of fertile areas due to human impact, threatens environmental sustainability. In Türkiye, deforestation accelerates soil loss, making forest conservation and planning based on scientific data a necessity. In this study, the stand structures of Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.) forests allocated to soil conservation in the Mediterranean region were analyzed. For this purpose, “vegetation cover factor” (C) values were calculated using four different methods. Subsequently, the C factors calculated using RUSLE, as well as the prevented soil loss values excluding C, were displayed. Relationships between different stand parameters were analyzed, and the effects of various forest structures on soil conservation were examined. The results revealed that the VIIth age class (ages 120-140 years) yielded the highest soil conservation capacity, while a sharp decline in prevented soil loss values was observed after this age. Fully closed stands in the VIIth age class and good site quality were found to achieve the highest erosion prevention amount, with 1057 tons/ha/year. It was also observed that soil loss tended to increase as slope steepness increased, with forests on slopes exceeding 50% in terms of prevented soil loss values. When development stages were considered, soil loss in the "d" stage forests, was calculated as 146 tons/ha/year, while prevented soil loss reached up to 747 tons/ha/year. Forests having good site and in the VIIth age class reached the highest prevented soil loss amount with 1010 tons/ha/year. In conclusion, the findings presented in this study are expected to provide a significant basis for decision-making processes, contributing to the adoption of scientifically based decisions in forest management planning. Furthermore, the results are expected to serve as a guide, particularly in the classification of soil conservation management units. It is recommended to conduct similar studies with different tree species and in dissimilar regions.

Key Words: *Forest Management, Management Plans, Forest Functions, RUSLE, Stand Components, Geographic Information Systems, Database*

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.	Çalışma alanının konumsal gösterimi (2020) 45
Şekil 2.	Çalışmada kullanılan coğrafi veri tabanı 46
Şekil 3.	Uzuncaburç OİŞ Amenajman Plan Programı (APP) görüntüsü 47
Şekil 4.	Su Erozyonu haritası 48
Şekil 5.	R değerinin gösterimi (Hatay-Belen OİŞ) 49
Şekil 6.	K değerinin gösterimi (Hatay-Belen OİŞ) 50
Şekil 7.	LS faktörü hesaplama aşamaları 51
Şekil 8.	LS faktörü değeri (Mersin OBM-Silifke OİŞ)..... 51
Şekil 9.	C faktörü değeri (Antalya OBM-Doğanca OİŞ)..... 52
Şekil 10.	Copernicus sitesinde uydu indirilmesi aşamaları..... 54
Şekil 11.	ArcGIS “zonal statistics as table” komutu uygulaması 55
Şekil 12.	Çalışmada uygulanan iş akış şeması 58
Şekil 13.	Access ile veri tabanı tasarımı 59
Şekil 14.	SNAP programında Sen2Core eklentisi..... 61
Şekil 15.	SNAP programında “Band extractor” komutu 62
Şekil 16.	SNAP programında “Band Multi-size Mosaic” komutu 63
Şekil 17.	SNAP programında “NDVI Processor” komutu..... 63
Şekil 18.	SNAP programında “Band Maths” komutu..... 64
Şekil 19a.	Yaş sınıflarına göre meşcere bileşenleri 71
Şekil 19b.	Yaş sınıflarına göre toprak kaybı toprak kaybı miktarları 71
Şekil 19c.	Yaş sınıflarına göre önlenen toprak kaybı miktarları 71
Şekil 20a.	Gelişme çağlarına göre meşcere bileşenleri..... 75
Şekil 20b.	Gelişme çağlarına göre toprak kaybı miktarları..... 75
Şekil 20c.	Gelişme çağlarına göre önlenen toprak kaybı miktarları..... 75
Şekil 21a.	Gelişme çağlarına (b3, c3, d3) göre meşcere bileşenlerinin özellikleri 78
Şekil 21b.	Gelişme çağlarına (b3, c3, d3) göre toprak kaybı miktarları 78
Şekil 21c.	Gelişme çağlarına (b3, c3, d3) göre önlenen toprak kaybı miktarları 78
Şekil 22a.	Eğim gruplarına göre meşcere bileşenlerinin özellikleri 81
Şekil 22b.	Eğim gruplarına göre toprak kaybı miktarları 81
Şekil 22c.	Eğim gruplarına göre önlenen toprak kaybı miktarları..... 81

Şekil 23a.	Bakı gruplarına göre meşcere bileşenlerinin özellikleri	84
Şekil 23b.	Bakı gruplarına göre toprak kaybı miktarları.....	84
Şekil 23c.	Bakı gruplarına göre önlenen toprak kaybı miktarları	84
Şekil 24.	Yaş ve kapalılık sınıflarına göre önlenen toprak kaybı	87
Şekil 25.	Yaş ve bonitet sınıflarına göre önlenen toprak kaybı	89
Şekil 26.	Tam kapalı meşcerelerde yaş ve bonitet sınıflarına göre önlenen toprak kaybı	91
Şekil 27.	Yaş sınıfları ve göre gelişme çağlarına göre önlenen toprak kaybı	93
Şekil 28.	Tam kapalı meşcerelerde yaş sınıfları ve gelişme çağlarına göre önlenen toprak kaybı.....	95
Şekil 29.	Eğim grubu ve kapalılık sınıflarına göre önlenen toprak kaybı.....	97
Şekil 30.	Eğim grubu ve bonitet sınıflarına göre önlenen toprak kaybı	99
Şekil 31.	Tam kapalı meşcerelerde eğim grubu ve bonitet sınıflarına göre önlenen toprak kaybı.....	102
Şekil 32.	Eğim grupları ve gelişme çağlarına göre önlenen toprak kaybı	104
Şekil 33.	Tam kapalı meşcerelerde eğim grupları ve gelişme çağlarına göre önlenen toprak kaybı.....	107
Şekil 34.	Bonitet ve kapalılık değerlerine göre önlenen toprak kaybı	110
Şekil 35.	Bonitet ve gelişme çağlarına göre önlenen toprak kaybı	112
Şekil 36.	Tam kapalı meşcerelerde bonitet ve gelişme çağlarına göre önlenen toprak kaybı	114
Şekil 37.	Yaş sınıflarına göre bazı meşcere bileşenlerinin önlenen toprak kaybı değerleri (ton/ha/yıl)	133

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Orman fonksiyonların yıllara alansal değişimi	8
Tablo 2. Sentinel 2 uydu görüntüsünün özellikleri (URL-1, 2024)	37
Tablo 3. C faktörü için kullanan denklemler.....	39
Tablo 4. K parametresinin hesaplanmasında kullanılan matematiksel denklemler.....	50
Tablo 5. DEMİS’de kullanılan CORINE C-faktörü değerleri (Panagos et al., 2015)	52
Tablo 6. Eğim gruplarının alt ve üst değer aralıkları	59
Tablo 7. Dikkate alınan değişken sınıflarına göre örnek alan sayı ve özellikleri (hektar değerleri).....	68
Tablo 8. Yaş sınıflarına göre meşcere bileşenleri, toprak kaybı ve önlenen toprak kaybı miktarları.....	70
Tablo 9. Gelişme çağlarına göre meşcere bileşenleri, toprak kaybı ve önlenen toprak kaybı miktarları.....	74
Tablo 10. Tam kapalı meşcerelerde gelişme çağlarına (b3, c3, d3) göre meşcere parametreleri, toprak kaybı ve önlenen toprak kaybı miktarları.....	77
Tablo 11. Eğim gruplarına göre meşcere bileşenleri, toprak kaybı ve önlenen toprak kaybı miktarları.....	80
Tablo 12. Bakı gruplarına göre meşcere bileşenleri, toprak kaybı ve önlenen toprak kaybı miktarları.....	83
Tablo 13. Normal dağılım test sonuçları.....	85
Tablo 14. Yaş ve kapalılık sınıflarına göre meşcere bileşenleri ve toprak kaybı.....	88
Tablo 15. Yaş ve bonitet sınıflarına göre meşcere bileşenleri ve önlenen toprak kaybı.....	90
Tablo 16. Tam kapalı meşcerelerde yaş ve bonitet sınıflarına göre meşcere bileşenleri ve önlenen toprak kaybı	92
Tablo 17. Yaş sınıfları ve gelişme çağlarına göre meşcere bileşenleri ve önlenen toprak kaybı	94
Tablo 18. Tam kapalı meşcerelerde yaş sınıfları ve gelişme çağlarına göre meşcere bileşenleri ve önlenen toprak kaybı	96
Tablo 19. Eğim grubu ve kapalılık sınıflarına göre önlenen erozyon.....	98
Tablo 20. Eğim grubu ve bonitet sınıflarına göre meşcere bileşenleri ve önlenen toprak kaybı	100

Tablo 21.	Tam kapalı meşcerelerde eğim grubu ve bonitet sınıflarına göre meşcere bileşenleri ve önlenen toprak kaybı	103
Tablo 22.	Eğim grupları ve gelişme çağılarına göre meşcere bileşenleri ve önlenen toprak kaybı.....	105
Tablo 23.	Tam kapalı meşcerelerde eğim grupları ve gelişme çağılarına meşcere bileşenleri ve önlenen toprak kaybı	108
Tablo 24.	Bonitet ve kapalılık sınıflarına göre meşcere bileşenleri ve önlenen toprak kaybı	111
Tablo 25.	Bonitet ve gelişme çağılarına göre meşcere bileşenleri ve toprak kaybı	113
Tablo 26.	Tam kapalı meşcerelerde bonitet ve göre gelişme çağılarına göre meşcere bileşenleri ve toprak kaybı.....	115
Tablo 27.	Plantasyon türlerine göre toprak kaybı miktarları (Sun vd. 2018).....	118
Tablo 28.	Bitki örtüsü aşaması ile toprak kaybı ilişkisi (Lin vd., 2013)	119
Tablo 29.	Plantasyon türlerine göre toprak kaybı miktarları (Sun vd. 2018).....	120
Tablo 30.	Ormanların toprak kaybı üzerine etkisi (Nguyen, 2020)	122
Tablo 31.	Bitki örtüsü türleri ile toprak kaybı miktarları arasındaki ilişki (Kateb vd., 2012)	124
Tablo 32.	Bitki örtüsü aşamalar ve kapalılık ile toprak kaybı ilişkisi (Lin vd., 2013)	126
Tablo 33.	Tam kapalı ve I. bonitet sınıfındaki meşcerelerin aktüel –optimal karşılaştırılması	129
Tablo 34.	Tam kapalı ve II. bonitet sınıfındaki meşcerelerin aktüel –optimal karşılaştırılması	130
Tablo 35.	Tam kapalı ve III. bonitet sınıfındaki meşcerelerin aktüel –optimal karşılaştırılması	132
Tablo 36.	Yaş sınıflarına göre bazı meşcere bileşenlerinin önlenen toprak kaybı değerleri (ton/ha/yıl)	133
Tablo 37.	Yaş sınıfları ile önlenen toprak kaybı miktarı arasındaki istatistiki analiz.....	134
Tablo 38.	Eğim - bakı ve ormanlık duruma göre toprak kaybı ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Parhizkar vd. 2020).....	136
Tablo 39.	Erozyon miktarları değerleri (Kosmas vd. 2000)	137
Tablo 40.	Kapalılık ve eğim değerlerine göre toprak kaybı miktarları (Hartanto vd. 2002)	138
Tablo 41.	Eğim değerlerine göre toprak kaybı miktarları analizi	142
Tablo 42.	Eğim değerlerine göre toprak kaybı miktarları.....	143
Tablo 43.	Orman yapılarına göre toprak kaybı miktarları (Selkimaki vd. 2011).....	145
Tablo 44.	Orman yapılarına göre toprak kaybı miktarları (Selkimaki vd. 2011).....	147
Tablo 45.	Bonitetlere göre toprak kaybı miktarları analizi	148

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	RUSLE İle Tahmin Edilen Ortalama Yıllık Potansiyel Toprak Kaybı Miktarı (Average Annual Potential Soil Loss)
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
APP	Amenajman Plan Programı
BA	Göğüs Yüzeyi (Basal Area)
C	Bitki Örtüsü Faktörü
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇEM	Çölleşme Ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü
Çz	Kızılçam Ağaç Türü
Dbh	Göğüs Çapı
DEM	Dijital Yükseklik Modeli
DEMİS	Dinamik Erozyon Modeli Ve İzleme Sistemi
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
E	Yıllık Toprak Kaybı
EH	Ekosistem Hizmetleri
ESA	Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency)
ETKE	Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği
EUROSEM	Avrupa Toprak Erozyonu Modeli (The European Soil Erosion Model)
FRİS	Batı Karadeniz Yapraklı Tür Projesi
G	Göğüs Yüzeyi
I30	30 Dakikalık Maksimum Yağış Şiddeti (Mm H-1)
IDW	Ters Mesafe Ağırlıklandırma (Inverse Distance Weighting)
K	Toprak Erozyon Faktörü (Ton Ha-1 X Ha MJ-1 X Ha Mm-1)
LP	Doğrusal Programlama
LS	Yamaç Uzunluk Ve Eğim Faktörü
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MSI	Çoklu Spektral Görüntüleme Sensörü
MTA	Maden Tetkik Ve Arama
MUSLE	Modifiye Edilmiş Ünlversal Toprak Kayıpları Eşitliği

N	Ağaç Adeti
NBD	Net Bugünkü Değer
NDVI	Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü Farkı İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index)
NIR	Yakın Kızılötesi
OBM	Orman Bölge Müdürlüğü
OF	Orman Fonksiyonları
OGM	Orman Genel Müdürlüğü
OİM	Orman İşletme Müdürlüğü
OİŞ	Orman İşletme Şefliği
OM	Organik Madde
P	Erozyon Önleyici Diğer Faktörler
PESERA	Pan-Avrupa Toprak Erozyonu Risk Değerlendirmesi
Q	Sayısal Yükseklik Modeline Bağlı Topoğrafya Potansiyeli
R	Yağış Erozyon Faktörü (MJ Mm Ha-1/Saat-1/Yıl-1)
R-faktörü	Yağmur Erozivite ve Yüzeysel Akış Faktörü (Rainfall Erosivity And Runoff Factor)
RUSLE	Yenilenmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (Revised Universal Soil Loss Equation)
SAM	Sayısal Arazi Modeli
SHETRAN	Avrupa Hidrolojik Sistemi (Système Hydrologique Européen)
SİO	Sediment İletim Oranı
SNAP	Sentinel Uygulama Platformu (Sentinel Application Platform)
SWAT	Toprak ve Su Değerlendirme Aracı (Soil And Water Assessment Tool)
SWIR	Kısa Dalga Kızılötesi
SYM	Dijital Yükseklik Haritaları
USLE	Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (Universal Soil Loss Equation)
V	Hacim
VNIR	Görünür ve Yakın Kızılötesi
WEPP	Su Erozyonu Tahmin Projesi (Water Erosion Prediction Project)
YETKE	Yenilenmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Orman ekosistemleri bütün canlılar için kritik bir öneme sahip olup, birçok fayda sağlamaktadır. Ekolojik açıdan; su döngüsünü düzenler, yeraltı su kaynaklarını besler ve hava kalitesini artırarak atmosferdeki kirleticileri temizler. Karbondioksit emme ve depolama kapasiteleri ile iklim değişikliğiyle mücadelede önemli rol oynar ve çölleşmenin önlenmesinde etkili olur. Erozyonla mücadelede, kök sistemleri toprağı sıkılaştırarak toprak kaymalarını ve erozyonu önler. Ayrıca biyolojik çeşitliliğı koruyarak birçok bitki ve hayvan türüne ev sahipliğı yapar, bu da ekosistemlerin dengede kalarak devamlılığını sağlamasına yardımcı olur. Sanayi açısından; odun, kağıt ve diğer orman ürünleri sağlar, bu da ekonomik fayda getirir. Turizm ve rekreasyon için popüler alanlar sunarak toplumsal faydalar sağlar. Bu nedenlerle ormanların korunması ve sürdürülebilir yönetimi insanoğlu için büyük öneme sahiptir.

Hızla artan dünya nüfusu ile birlikte, nüfusun orman ekosistemlerinin sunduğı ürün ve hizmetlere olan talebi, miktarı ve çeşitliliğı de artmaktadır. Geçtiğimiz 50 yılda, önceleri sadece odun hammaddesine talep söz konusu iken, günümüzde karbon stoku, temiz su, temiz hava, toprak koruma, çığ önleme, yaban hayatı, gürültü önleme, gen kaynakları, peyzaj, rekreasyon, savunma gibi insan ihtiyaçlarının gelişmesine ve değişimine bağılı olarak orman ekosisteminden birçok fayda talep edilmektedir. Toplumun bu taleplerin karşılanma isteğı, orman ekosistemlerine olan baskıyı giderek arttırmakta, sürdürülebilirliğin ve sürekliliğin sağlanması konusunda problemler yaşanmasına neden olabilmektedir. Hem toplumun taleplerinin karşılanma isteğı, hemde ormanların bu talepleri karşılaması orman ekosisteminde dengenin bozulmasına, verimli orman alanlarının azalmasına, erozyon miktarının artmasına, barajlarda sediment birikmesine ve sonuçta bitki örtüsünde telafı edilemez tahribatlar meydana gelmesine neden olmaktadır. Bahsedilen bu süreç organizma ve mikroorganizmaların azalması, toprağın verimliliğinin azalması, yetişme ortamı verim gücünün düşmesi, iklim değişikliğinin hızlanması, biyolojik çeşitliliğın azalması ve su dengesinin bozulması gibi çeşitli sorunları beraberinde getirmektedir. Artan ve çeşitlenen taleplerin sürekli olarak karşılanabilmesi, orman ekosistemlerinin sonraki nesillere sağlıklı aktarılabilmesi için planlamanın bir zorunluluk

ve gereklilik olduğu ortaya çıkmaktadır. Orman ekosisteminin arz ettiği nitelik ve niceliklere göre planlanmasıyla, orman ekosisteminden elde edilen ürün ve hizmetler toplumun kullanımına açılmakta ve planlama sayesinde sürdürülebilirlik ve süreklilik ilkeleriyle orman ekosisteminin varlığı ve devamlılığı garanti altına alınmaktadır. Sürdürülebilirlik ilkesi, mevcut nesillerin ihtiyaçlarını karşılarken gelecek nesillerin de ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde doğal kaynakların kullanılmasını sağlamaktadır. Bu ilke, orman kaynaklarının aşırı tüketilmesini önlemekte ve biyolojik çeşitliliğin korunmasına yardımcı olmaktadır. Süreklilik ilkesi ise, ormanların uzun vadede varlığını sürdürebilmesi için gereken tedbirlerin alınmasını sağlamaktadır. Bu ilkeler çerçevesinde yapılan ormancılık planlaması, orman kaynaklarının sürdürülebilir biçimde kullanılmasını ve gelecek kuşaklara aktarılmasını sağlar. Bu da doğal ekosistemlerin korunması, iklim değişikliğiyle mücadele, su kaynaklarının korunması gibi pek çok fayda sağlamaktadır.

Planlamada mevcut orman yapı ve kuruluşunun istenilen hedefe ulaştırılması ve böylece orman kaynaklarının sunduğu ürün ve hizmetlerden en yüksek seviyede yararlanılması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda dünyada ve ülkemizde planlama sürecinin toplumun isteklerine, ulaşılan bilgi düzeyine, teknolojinin gelişimine bağlı olarak geliştiği görülmektedir. Ormanların planlanmasına Almanya’da 17. yy. (Schmithüsen, 2013), Amerika’da 18. yy. (Hall vd., 2002), Kanada’da 19. yy. (Lane ve McDonald, 2002) ve ülkemizde 20. yy. başlarında başlamıştır (Şahin vd., 2022).

Ülkemizde ormanların amenajman planlarına göre işletilmesi yasal bir zorunluluktur. İlk orman amenajman planının düzenlenmesi 1917 yılına dayanmakla birlikte, ülkede matematik-istatistik metotlara dayanan güvenilir ve sağlıklı orman kaynaklarının planlaması, öncesinde 1955 tarihli orman amenajman yönetmeliği ile yasal altyapıya kavuşturulmuş, sonrasında 1962 yılında DPT’nin (Devlet Planlama Teşkilatı) kurulması ve sektörel planlamaya geçiş ile ülke sathına yaygınlaştırılmıştır. İlk 10 yıllık süreçte, ülkenin tamamının amenajman planları yapılmış ve sonrasında her yıl yaklaşık 2 milyon ha alanın planlanması öngörülmüştür. Bu dönemde yapılan orman amenajman planlarında; Milli Parklar ve Bakanlar Kurulu kararı ile korumaya ayrılan alanlar dışında kalan ormanlar üretim ormanı olarak planlanmıştır. İlk dönem yapılan bu planlardaki bazı olumsuzluklar görülmüş, bunların düzeltilmesi için 1973 yılında “Orman Amenajman Planlarının Düzenlenmesine, Uygulanmasına ve Yenilenmesine Dair Yönetmelik” çıkarılmıştır. Tüm ormanların üretim ormanı olmadığı düşüncesi ile orman amenajman planları yapılırken

yetiştirme ortamı kötü ve sosyal baskılı alanlar “Muhafaza Karakterinde Orman İşletme Sınıfı” adı altında ayrılarak üretim dışında bırakılmıştır (Güzenge, 2013).

Orman Bakanlığı APK Daire Başkanlığı 1997 yılı verilerine göre; muhafaza işletme sınıfları normal koru 1.250.314 ha, bozuk koru 1.783.533 olmak üzere toplam 3.033.874 ha’dır. Normal baltalık alanı 68.697 ha, bozuk baltalık 418.832 ha olmak üzere ise toplamda 452.136 ha’dır. Sonuçta; 1997 yılı itibari ile koru ve baltalık olmak üzere toplam 3.042.509 ha muhafaza işletme sınıfı bulunmaktadır (Asan 1995). Muhafaza karakteri gösteren orman alanlarında 2002 yılına kadar artış gözlemlendiği halde, sonrasında giderek azalma olduğu anlaşılmıştır. 2002 yılında 3.899.533 ha olan alanlar, 2008’de 3.564.750 ha’a düşmüştür. Muhafaza amaçlı ayrılmış olan alanlardaki azalmanın sebebi; yeni planlama yaklaşımında (fonksiyonel planlama) fonksiyonlara göre yeniden sınıflandırmanın gerçekleştirilmesi ve planlama ünitelerinde yeni yol yapılmasıyla bu alanların üretim ormanı olarak ayrılması olarak gösterilmiştir. Değişik statülerde bulunan korunan alanların büyük bir kısmında, muhafaza karakterli işletme sınıfı ile yönetilen orman alanlarından dönüşmüştür (OGM, 2009).

Toplumun talepleri dikkate alınarak belirlenen işletme amaçları, 1990 yılına kadar odun üretimi eksenli belirlenirken (Asan, 2010), ülkenin ve toplumun ekonomik gelişimi, eğitim düzeyinin artması, sosyal hayatın gelişmesi, kırsaldan şehirlere hem yatay hem de dikey yönde göç hareketi, sanayileşme, gelişen teknoloji ile ürün çeşitliliğinin artması gibi nedenlerle, ormanların sunduğu fayda ve hizmetlere olan talepler çeşitlenmiştir.

2008 yılında yürürlüğe giren orman amenajman yönetmeliğiyle birlikte başlayan “Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Planlama” yaklaşımında, ormanların sunduğu ürün ve hizmetlerin sürdürülebilir planlanması, yasal anlamda güvence altına alınmıştır. Her ne kadar 2008 yılı öncesinde odun üretimi amacı dışındaki fonksiyonları dikkate alan farklı planlama yaklaşımları (FRİS, Batı Karadeniz Yapraklı Tür Projesi vb.) denenmiş olsa da, 2008’den sonraki sürecin farklı gözle değerlendirilmesi gerekmektedir. Orman fonksiyonları; toplumun talepleri, ormanın sunduğu ürün ve hizmetlerle birlikte ulusal ormancılık politikaları, uluslararası anlaşmalar, ormanlardan çeşitli ürün ve hizmet isteklerine göre belirlenmiştir. Dünya ormancılığında köklü değişime neden olan bu yaklaşım, Rio konferansı (1992) sonrası hızlanmıştır.

Rio zirvesinin ana çıktılarından, “Gündem 21” de ormansızlaşma ile mücadele ve ormanların fonksiyonlarının muhafaza edilmesi, “Çölleşme ile mücadele” sözleşmesinde ise ana amaç arazi ve su kaynaklarının korunması ve bu yöntemle çölleşme ile mücadele ve

kuraklığın etkisini azaltması planlanmıştır. Avrupa'daki ormanların korunmasına dair bakanlar düzeyindeki Pan-Avrupa konferansında Avrupa ormanlarının korunması ve sürdürülebilir yönetiminin desteklemesi amacıyla önemli bir başlangıç yapılmıştır. Konferansın göstergesinden biri olan orman ekosisteminin sağlık ve canlılığının sürdürülmesi kriterinde; toprak durumu, orman tahribatı ve orman koruyucu fonksiyonlarının idamesi uygun biçimde iyileştirilmesi kriterinde koruyucu ormanlar (su, toprak ve ekosistemin diğer unsurları) olarak belirtilmiştir. Dünya ve Avrupa'da olan gelişmeler göstermiştir ki, orman ekosistemleri ekolojik koşullar göz önünde bulundurularak planlanmalı ve yönetilmelidir.

Ormancılıkta planlama, ekosistemlerin sürekliliğini ve sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla detaylı bir süreci gerektirmektedir. Planlama; orman fonksiyonlarının belirlenmesi, mevcut ormanların korunması ve yapılarına göre sağladığı ürün ve hizmetlerin değerlendirilmesini içermektedir. Ormanların ekosistem hizmetleri, biyolojik çeşitlilik, su döngüsü ve iklim düzenlemesi gibi kritik fonksiyonları göz önünde bulundurularak yapılan planlama, ormanların sürdürülebilirliğini garanti etmektedir. Planlama süreci, ormanların mevcut durumunun analiz edilmesi, potansiyel tehditlerin belirlenmesi ve gelecekteki senaryoların oluşturulması ile şekillenmektedir. Bu yaklaşım, orman kaynaklarının yalnızca günümüz ihtiyaçlarına değil, aynı zamanda gelecek nesillerin ihtiyaçlarına da hizmet edecek şekilde yönetilmesini sağlamaktadır. Böylece, ormanların ekolojik dengesi korunmakta ve uzun vadeli sürdürülebilirlik sağlanmaktadır.

1.2. Orman Fonksiyonları

Orman fonksiyonları, ormanların ekosistemlerin işleyişi ve insan yaşamı üzerindeki etkilerini belirleyen çeşitli doğal süreçleri ifade etmektedir. Ormanlar ekolojik, ekonomik ve sosyal açıdan birçok önemli fonksiyona sahiptir. Ekonomik fonksiyonlar, odun ve diğer orman ürünlerinin üretimi ile ilgili olup, ormanların ekonomik değerinin artırılması hedeflenmektedir. Sosyal fonksiyonlar ise ormanların rekreasyon, eğitim ve kültürel değerler açısından sağladığı yararları kapsamaktadır. Ekolojik fonksiyonlar arasında ise karbon döngüsünün düzenlenmesi, su döngüsünün desteklenmesi ve toprak koruma yer almaktadır. Ormanlar, fotosentez yoluyla atmosferden karbondioksiti emerek karbon depolamakta ve bu sayede iklim değişikliğiyle mücadeleye katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, yağışların toprak tarafından emilmesini sağlayarak suyun yeraltı kaynaklarına sızmasını ve

yüzey akışının azaltılmasını desteklemektedir. Orman kök sistemleri, toprağı sıkıca tutarak erozyonu önlemekte ve biyolojik çeşitliliğı korumaktadır. Bu fonksiyonlar, hem doğal çevrenin korunmasını hem de ekosistemlerin sürdürülebilirliğini sağlamada kritik rol oynamaktadır.

Orman fonksiyonu; orman ekosistemleri içinde meydana gelen ürün ve hizmetler bütünü olarak tanımlanmaktadır. İşletme amacı ise faydalanılması düşünülen orman fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır (Mısır, 2005). Ormanların sunduğı fayda ve fonksiyonlar, bu fonksiyonların toplumsal ihtiyaçlar doğrultusunda amaç haline dönüştürülmesiyle büyük önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, orman planlama süreçlerinde birden fazla fonksiyonun aynı anda değerlendirilmesi ve yönetilmesi gerekebilmektedir. Fonksiyonlar arasındaki bu çakışmalar, birden fazla amacın gerçekleştirilmesine olanak sağlamakta ve böylece çok amaçlı yararlanma meydana gelmektedir. Çok amaçlı planlama, orman ekosistemlerini bozmadan birden fazla amacı aynı anda gerçekleştirerek kaynakları optimal bir şekilde insanlara sunma yaklaşımı olarak tanımlanabilmektedir (Mısır, 2005). Bu strateji, hem ekosistem sağlığını koruyarak, hem de toplumsal ihtiyaçları karşılayarak sürdürülebilir bir kaynak yönetimi sağlamaktadır. Ancak, çok amaçlı planlama ile fonksiyonel planlama arasında temel bir fark bulunmaktadır. Fonksiyonel planlama, belirli bir fonksiyonun (örneğin, toprak koruma, biyolojik çeşitlilik koruma veya rekreasyon) yerine getirilmesini amaçlayan bir planlama türüdür ve genellikle tek bir fonksiyonel amaca odaklanmaktadır. Öte yandan, çok amaçlı planlama, birden fazla fonksiyonu aynı anda gerçekleştirmeyi hedeflemekte ve bu nedenle, her çok amaçlı planın fonksiyonel planlama özelliğı taşıdığı ifade edilmektedir. Her çok amaçlı plan, içerdiği çeşitli fonksiyonlar nedeniyle fonksiyonel planlama özelliğine sahip olurken, ancak her fonksiyonel orman planı çok amaçlı olarak kabul edilmemektedir.

Orman fonksiyonları yakın zamana kadar ülkemizde bilimsel, uygulama ve mevzuat kapsamında yukarıda verilen tanım ölçeğinde ele alınırken; özellikle son yıllarda “Ekosistem Hizmeti” (EH) kavramının ön plana çıktığı gözükmemektedir. EH kavramının gelişimini kısa biçimde, tarihsel olarak ele almak neredeyse imkansızdır. Çoğu yazar “ekosistem hizmetleri” teriminin 1981 yılında ortaya atıldığı konusunda hemfikirdir. Bu terim 1980'lerde sürdürülebilir kalkınma tartışmalarıyla arka plana itilmiş, ancak 1990'larda EH'nin profesyonel literatürde yaygınlaşması ve ekonomik değerlerine olan ilginin artmasıyla güçlü bir şekilde geri dönmüştür. Zaman içinde, kavramın tanımları ya ES'nin doğal ekosistemlerin ve türlerinin insan yaşamını sürdürdüğü ve yerine getirdiğı

koşullar ve süreçler olduğu ekolojik temele ya da EH'nin insanların ekosistem işlevlerinden doğrudan veya dolaylı olarak elde ettiği faydalar olduğu ekonomik önem düzeyine odaklanarak gelişmiştir. TEEB (The Economics of Ecosystem and Biodiversity) çalışması (2008-2010) bir uzlaşma olarak EH'ni ekosistemlerin insan refahına doğrudan ve dolaylı katkıları olarak tanımlamıştır. Bu farklılıklara rağmen, tüm tanımlar (doğal) ekosistemler arasındaki bağlantıyı vurgulamaktadır. Ekosistemler ve insan refahı ve hizmetler, insan dünyası ile doğal dünya arasındaki 'köprüdür' ve sadece insanlar bu doğal dünyadan fiilen ayrılmıştır (Burkhard ve Maes, 2017).

Ekosistem Hizmetleri (EH); doğanın insanlara sağladığı çeşitli yararları ifade etmekte ve orman ekosistemlerinde geniş bir yelpazede sunulmaktadır. Ekosistem hizmetleri terimi, bilimsel literatüre bugünkü anlamıyla Costanza vd. (1997) çalışmalarıyla girmiştir. Buna göre EH; "toplumların ekosistem fonksiyonlarından doğrudan veya dolaylı olarak sağladığı faydalar" olarak tanımlanmış ve tüm ekosistemlerin yıllık ekonomik değerini 33 trilyon dolar olarak hesaplamıştır. Bu kavram, 2005'te "Milenyum Ekosistem Değerlendirmesi" ile daha da netleştirilmiş ve geniş kitlelere yayılmıştır. EH, ekosistemlerin yapı ve işleyişinin insan refahı üzerindeki etkilerini anlamak ve ekonomik değerlerini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Örneğin, ormanların biyofiziksel yapısı ve ekolojik süreçleri, orman fonksiyonları ve bunların sunduğu hizmetler, bu kavramın bir parçasıdır. Orman amenajmanı, bu hizmetlerin sürdürülebilirliğini sağlamak için sosyal baskıları yönetirken, ormanların ekosistem hizmetlerini de korumayı hedeflemektedir (Burkhard ve Maes, 2017; Vatandaşlar, 2021).

Orman fonksiyonları (OF) ve ekosistem hizmetleri (EH), ormanların sağladığı faydaları değişik açılardan değerlendiren iki ayrı kavramdır. Orman fonksiyonları, orman ekosisteminin doğal süreçleri ve yapısal bileşenleri arasında oluşan karşılıklı ilişkiler sonucu ortaya çıkan ürün ve hizmetlerdir. Bu fonksiyonlar, ormanın kapasitesini, yani sağlama potansiyelini temsil eder ve çoğunlukla ormanın ekolojik yapısını, koruma işlevlerini ve sağladığı doğal döngüleri kapsar. Ekosistem hizmetleri ise bu fonksiyonlardan türetilmiş ve toplumların doğrudan veya dolaylı olarak faydalandığı somut çıktılardır. EH, orman fonksiyonlarının günlük yaşamda insanlara sağladığı gerçek hizmet akışını ifade etmektedir. Bu hizmetler, toplum tarafından talep edilen faydalar olup, parasal değeri ölçülebilen (odun üretimi gibi) ya da ölçülemeyen (iklim düzenleme, estetik faydalar gibi) hizmetleri kapsamaktadır. Kısacası, OF ormanın içsel kapasitesi ve

ekosistem içindeki işlevselliğiyle ilgilenirken, EH bu kapasitenin toplum üzerinde yarattığı doğrudan faydaları ele almaktadır (Vatandaşlar, 2021).

Ülkemizde 2008 yılında “Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Yönetmeliği”nin yürürlüğe girmesiyle birlikte; ekonomik, ekolojik, sosyo-kültürel olmak üzere 3 ana fonksiyon 10 alt fonksiyona (Orman Ürünleri Üretim, Doğayı Koruma, Erozyonu Önleme, İklim Koruma, Hidrolojik, Toplum Sağlığı, Estetik, Ekoturizm ve Rekreasyon, Ulusal Savunma ve Bilimsel)göre sürdürülebilir ve süreklilik ilkeleriyle farklı işletme amaçlarını gerçekleştirme üzere birçok işletme sınıfı oluşturulmuştur. Orman fonksiyonları ile orman işletme amaçları arasında organik bir bağ olup, işletme sınıfları sayesinde ormanlardan 5N1K kuralına göre ormanlardan en yüksek düzeyde faydalanma sağlanması amaçlanmaktadır.

Orman Genel Müdürlüğü’nün 2023 yılı istatistikleri ve 2012, 2015, 2020 yıllarına ait orman varlığı verilerine göre; Türkiye’deki orman alanlarında genel bir artış olduğu gözlemlenmektedir. Bu artış, özellikle ekolojik fonksiyonlu ormanlarda belirgin olup, ekonomik fonksiyonlu ormanlarda bir azalma yaşanmıştır. Ekonomik fonksiyonlu ormanlar içinde orman ürünleri üretimi alanlarında sürekli bir düşüş gözlenirken, doğayı koruma, erozyon önleme ve iklim koruma gibi ekolojik fonksiyonlu ormanlarda ise artış kaydedilmiştir. Sosyo-kültürel fonksiyonlu ormanlarda ise 2012 yılından 2020 yılına kadar bir artış yaşanmış, ancak 2020 ile 2023 yılları arasında ise düşüş gözlemlenmiştir. Bu durum, orman yönetiminde ekolojik önceliklerin arttığını, ekonomik kullanımların ise azaldığını göstermektedir. Sosyo-kültürel fonksiyonlarda; toplum sağlığı, ekoturizm ve bilimsel kullanım gibi alt fonksiyonlarda dalgalı bir seyir izlemektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Orman fonksiyonların yıllara alansal değişimi

Ana fonksiyon	Alt fonksiyon	2012	2015	2020	2023
Ekonomik	Orman Ürünleri Üretimi	13.621.559	11.243.094	9.696.156	9.346.665
Ekolojik	Doğayı Koruma	-	-	-	6.205.698
	Erozyon Önleme	-	-	-	5.721.877
	İklim Koruma	-	-	-	8.098
	Toplam	6.912.424	9.287.847	11.120.745	11.935.673
Sosyo-kültürel	Hidrolojik	-	-	-	1.405.705
	Toplum Sağlığı	-	-	-	39.260
	Estetik	-	-	-	317.809
	Ekoturizm ve Rekreasyon	-	-	-	203.319
	Ulusal Savunma	-	-	-	95.388
	Bilimsel	-	-	-	19.252
	Toplam	1.144.151	1.811.994	2.116.099	2.080.733
Genel Toplam		21.678.134	22.342.935	22.933.000	23.363.071

1.3. Ülkemizde Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Planlama Süreci

Ormancılıkta planlama, orman kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi amacıyla gerçekleştirilen çok aşamalı ve kapsamlı bir süreçtir. Planlama, öncelikle amaçlar ve koruma hedeflerinin belirlenmesiyle başlamaktadır. Bu hedefler, ormanın hangi amaçlarla yönetileceğini (örneğin, odun üretimi, su koruma, biyoçeşitlilik) ve hangi ekosistem hizmetlerinin önceliklendirilmesi gerektiğini belirlemektedir. Bu amaçların netleştirilmesinin ardından, ormanın mevcut durumunu ortaya koymak için veri toplama ve envanter çalışmaları yapılmaktadır. Bu aşamada, saha çalışmaları, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama gibi modern teknikler kullanılarak; ağaç türleri, yaş grupları, büyüme hızları, biyokütle miktarı, yaban hayatı, eğim, bakı, yükseklik, havza sınırları, doğal sınırlar ve diğer ekolojik özellikler detaylı bir şekilde incelenmekte ve planlama için belirlenmektedir.

Orman fonksiyonlarının ayrılması, ormanların sunduğu ekosistem hizmetlerinin etkin ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesini sağlamak açısından büyük önem taşımaktadır. Bu süreç, ekonomik, ekolojik ve sosyo-kültürel fonksiyonların dengeli bir şekilde planlanmasına olanak tanıyarak, orman ekosisteminin mevcut durumuna göre odun

üretimi, erozyon önleme, su koruma, biyoçeşitlilik ve rekreasyon gibi farklı hizmetlerin en uygun alanlarda işletilmesini mümkün hale getirmektedir. Fonksiyonel ayırım, doğal kaynakların korunmasını, orman ekosistemlerinde işletilmesinde risklerin azaltılmasını ve ekosistem hizmetlerinin kalitesinin artırılmasını sağlamaktadır. Ayrıca, toplumun sosyal ve kültürel taleplerini karşılamak, ekonomik faydaları en üst düzeye çıkarmak ve planlama süreçlerini bilimsel verilerle desteklemek açısından kritik bir rol oynamaktadır. Böylece, orman yönetimi sürecinde ekosistemlerin sağlıklı işleyişi korunarak, çatışmaların önüne geçilmekte ve orman kaynaklarının uzun vadeli sürdürülebilirliği güvence altına alınmaktadır.

İstenilen amaç ve hedefler doğrultusunda; işletme amaçları, işletme sınıfları ve fonksiyonlar arasında kurulan ilişki ile ormanın işletileceği işletme amacı ve sınıf belirlenmektedir. Bu sayede, her işletme sınıfı için belirlenen hedefler doğrultusunda ormanın sürdürülebilir yönetimi sağlanmakta ve her bir sınıfın süreklilik garantisi altına alınmaktadır. Bu aşamada, ormanların sağlığını ve ürünlerini koruyarak sürdürülebilir fayda sağlamak için gerekli silvikültürel müdahaleler (örneğin, dikim, gençleştirme, bakım kesimleri) planlanmaktadır. Planlanan stratejilerin uzun vadeli etkilerini değerlendirmek için simülasyon ve modelleme teknikleri kullanılmakta, böylece planın orman ekosistemi üzerindeki etkileri öngörülebilir hale gelmektedir. Planlama süreci uygulamaya geçtiğinde, izleme ve değerlendirme aşamaları devreye girmektedir. Bu aşamalar, planın doğru bir şekilde işleyip işlemediğini kontrol etmekte ve gerektiğinde düzenlemeler yapılmasına olanak tanımaktadır. Planlama sayesinde ormanların ekosistem hizmetlerinden sürdürülebilir şekilde faydalanılırken, toplumun ormanlardan beklentileri de dengeli bir şekilde karşılanmış olmaktadır. Bu bütüncül yaklaşım, hem orman kaynaklarının korunmasını hem de topluma sunulan ekolojik, ekonomik ve sosyo-kültürel hizmetlerin devamlılığını güvence altına almaktadır.

Amenajman planlama süreci, orman kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini sağlamak amacıyla bir dizi aşamadan oluşmaktadır. Süreç, planlama ünitesi hakkında bilgi edinmekle başlamakta; bu aşamada ormanın mevcut durumu, bitki örtüsü, toprak yapısı, iklim, flora ve fauna gibi bilgiler toplanmaktadır. Envanter ve arazi çalışmalarında, ağaç türleri, yaş, orman yapısı ve sağlık durumu gibi veriler saha çalışmaları ile elde edilmekte; ağaç boyu, yaşı ve çap gibi ölçümler yapılmaktadır. Orman fonksiyonlarının, işletme amaçları ve koruma hedefleri ile birlikte eşgüdümlü olarak işletme sınıfları belirlenmektedir. Mevcut ormanın sunduğu fonksiyon ile talep edilen amaçlar

birleştirilerek üretim fonksiyonu (odun üretimi ve diğer ekonomik değerler), koruma fonksiyonu (erozyon kontrolü, su rejimi düzenlemesi, biyolojik çeşitlilik korunması) ve rekreasyon ile sosyal fonksiyonlar (turizm, eğitim) değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmede toplumun, yörenin talepleri, Orman İşletme Müdürlüklerini taşıdığı ve üstlendiği görev sorumluluklarda dahil olmak üzere, yerel halk, yörenin farklı potansiyel değerleri, yasal durumlar, ekolojik alanlar ve değerler, arazi yapısı gibi birçok etken fonksiyon, işletme amacını veya koruma hedefi ile işletme amacını belirleme pratiğinde etkin rol oynamaktadır. Bu durumda planlamacı (başmühendis) bu kısıtlar ile orman sürdürülebilirlik ve süreklilik prensipleri doğrultusunda ormanları geleceğe taşıma gayesi doğrultusunda işletme amaçlarına karar vermekte ve deneticiye sunmaktadır. Bu aşama işin teknik boyutunda planlamacı ve denetici son aşamaya kadar getirmektedir.

Amenajman planlarının hazırlanmasında, önceki planlama periyotlarında kullanılan fonksiyon haritaları, güncel durum ve talepler değerlendirilerek yeniden düzenlenmektedir. Bu süreçte, ekonomik, ekolojik ve sosyokültürel fonksiyonlarda ihtiyaç duyulan revizyonlar yapılmakta ve mevcut koşullara uygun yeni bir fonksiyon haritası oluşturulmaktadır. Ekonomik fonksiyonlu alanlarda 300x300 m, ekolojik ve sosyokültürel fonksiyonlu alanlarda ise 600x600 m aralıklarla sistematik örnekleme desenleri oluşturulmaktadır. Ekonomik fonksiyonlu alanlarda, odun üretimi gibi ekonomik değer taşıyan unsurların değerlendirilmesi amacıyla daha sık örnekleme yapılmakta, bu alanlarda, 300x300 m aralıklarla belirlenen örnekleme noktaları, detaylı veri toplamaya olanak tanımaktadır. Ekolojik ve sosyo-kültürel fonksiyonlu alanlarda ise, ekosistemin korunması ve toplumun sosyal ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik olarak 600x600 m aralıklarla örnekleme yapılmaktadır. Bu şekilde belirlenen daha geniş aralıklar, ormanın ekolojik dengesini koruma ve sosyal işlevleri optimize etme amacıyla yeterli görülmektedir. Örnek alanlarda yapılan ölçümler sonucunda, ağaçların hacim, artım ve yaş değerleri gibi meşcere verileri ölçülmektedir. Hacim, mevcut odun miktarını; artım, ağaçların büyüme hızını; yaş ise ormanın yapısal durumunu ve gelecekteki gelişim potansiyelini göstermektedir. Bu veriler, orman kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve fonksiyonel kullanımının optimize edilmesi için kritik öneme sahiptir. Böylece, ormanların hem ekonomik değerini korumak hem de ekolojik ve sosyokültürel fonksiyonlarını sürdürülebilir şekilde yönetmek mümkün olmaktadır.

Uygulama ve izleme aşamasında ise; hazırlanan plan sahada işletmeciler tarafında uygulanmakta, izleme-kontrol ile planın başarı durumu değerlendirilmekte olup, gerektiği

durumlarda amenajman planlarında revizyon yapılmaktadır. Sürecin sonunda yapılan işlemler raporlanmakta ve elde edilen sonuçlar değerlendirilerek geri bildirimlere göre plan güncellenmektedir. Amenajmanda orman fonksiyonlarının belirlenmesi süreci, ormanların etkin ve sürdürülebilir şekilde yönetilmesi, korunması ve uzun vadede sağlıklı kalmasını sağlamak için kritik öneme sahiptir.

1.4. Erozyonu Önleme Fonksiyonlu Alanların Ayrılması

Erozyon önleme ana amacıyla ayrılan orman alanlarında, meşcere kuruluşunun belirli niteliklere sahip olması gerekmektedir. Bu tür alanlarda, ormanın etkin bir şekilde erozyonu kontrol edebilmesi için meşcere kuruluşunun sık, göğüs yüzeyi bakımından yüksek, karışık ve katlı yapıda olması önemlidir. Sık meşcereler, toprak üzerindeki erozyon etkilerini azaltarak suyun yüzeyde akışını engellemekte ve toprağın korunmasına yardımcı olmaktadır. Göğüs yüzeyinin yüksek olması, ağaçların çaplarının büyük olması anlamına gelmekte ve bu da ormanın toprak koruma kapasitesini arttırmaktadır. Karışık ve katlı meşcereler, farklı ağaç türlerinin ve yaş gruplarının bir arada bulunmasıyla oluşturulan yapılar olup, bu çeşitlilik toprağın fiziksel yapısının korunmasına ve suyun daha iyi emilmesine olanak tanımaktadır. Ormanın, derin köklü ağaç türlerinden oluşması, toprak koruma fonksiyonunun etkinliğini arttırmaktadır. Çünkü derin kökler toprağı daha sağlam biçimde tutarak erozyon riskini minimize etmektedir. Ormanın yapraklı veya iğne yapraklı ağaç türlerinden oluşması, fonksiyonun gerçekleşmesi açısından büyük fark yaratmamaktadır. Her iki yapıdaki ormanlar da, erozyon kontrolü için etkili olabilmektedir. Yani, türlerin seçimi, kök sistemlerinin derinliği kadar kritik değildir. Bu nedenle, erozyon kontrolü amacıyla kurulan ormanlarda, ağaç türlerinden bağımsız olarak, sık ve katlı meşcereler ile derin köklü yapılar tercih edilmektedir.

Erozyonu önleme amacıyla ayrılan ormanlar, toprak koruma ve ekosistem sağlığını sürdürme açısından önemli bir yönetim aracı olarak görülebilir. Bu ormanlar, toprak kaybını önlemek ve toprak kalitesini korumak amacıyla belirli kriterlere göre ayrılmaktadır. İlk olarak, eğimi ne olursa olsun, en az 1 hektarlık alanlarda gözlemlenen oluk ve oyuntu erozyonu bu tür ormanları belirlemede kullanılmaktadır. Oluk erozyonu, yamaç boyunca oluşan yüzeysel akışın belirli çizgiler boyunca yoğunlaşması sonucu toprağın ince oluklar halinde oyulmasıdır ve bu olukların derinliği genellikle 10-12 cm arasında değişmektedir. Oyuntu erozyonu ise oluk erozyonunun daha ileri bir aşamasıdır;

yeni oluşan bir kanalın genişliği 45-50 cm, derinliği ise 25-30 cm olabilir. Ayrıca, ormanda yeni oluşmuş bir kanalda ağaç köklerinin açığa çıkması da, oyuntu olarak değerlendirilmektedir. Bunun dışında, eğimi %60-80 arasında olan, kapallığı, kök yapısı ve ağaç sayısı gibi özellikleri nedeniyle toprak erozyonunun başladığı alanlar, heyelan olaylarının görüldüğü bölgeler ve ormanın alt sınırında erozyon gözüken alanlar da erozyonu önleme ormanı olarak ayrılmaktadır. Sahil ve iç kumullarda bulunan ormanlar, yüksek eğimli ve gevşek taş veya kaya barındıran yamaçlar ile bu taşların yerleşim yerleri veya yolları tehdit ettiği alanlar da bu sınıfa girmektedir. Ayrıca, yerleşim yerlerini veya tarım alanlarını tehdit edebilecek akarsu havzalarındaki ormanlar ve çığ tehlikesi bulunan bölgelerdeki ormanlar da erozyonu önleme amacıyla ayrılmaktadır. Orman amenajmanında bu alanların belirlenmesinde toprağın kapallığı, kök yapısı ve meşcere bileşenleri gibi ormanın yapısal özellikleri de dikkate alınmaktadır. Örneğin, ormanın kapalı olduğu alanlarda, aktüel erozyon görüntüsü yoksa eğim göstergesi tek başına yeterli bir ölçüt olarak kullanılmayabilmektedir. Bu kapsamda, erozyon önleme stratejilerinin etkinliği, toprağın mevcut durumu ve ormanın yapısal özellikleriyle birlikte değerlendirilmektedir (OGM, 2017).

Orman fonksiyonu ve işletme amacı belirleme aşamasında, her işletme amacının kendi kısıtlarına göre karar verilmektedir. Örneğin, toprak koruma işletme sınıflarında, eğimi %60-80 arasında olan alanlar bu sınıfa dahil edilmektedir. Çığ önleme, heyelan önleme ve taş veya kaya yuvarlanmasını önleme sınıflarında ise, bu tür olayların meydana gelmiş olması durumunda, işletmeci ve yöre halkı tarafından talepler oluşabilmektedir. Bu talepler, ormanın yapısının ve toprak yapısının bu durumu kontrol edebilecek kapasitede olması halinde değerlendirilmekte ve bu doğrultuda işletme amacı belirlenmektedir.

1.5. İşletme Sınıfı, Optimal Kuruluş ve Meşcere Kuruluşu

Ormancılığımızda, yetişme ortamı şartlarının sağladığı en yüksek ve kalitelideki hasılatı devamlı olarak elde etmek ve aynı zamanda ormanlarımızın kolektif, sosyal, kültürel ve estetik faydalarını en üst seviyeye çıkarmak amacıyla oluşturulan kuruluşlara “Optimal kuruluş” adı verilmektedir. Bu yaklaşım, modern anlamdaki sürdürülebilirliği tam olarak gerçekleştiren bir orman kuruluşunu ifade etmektedir. Optimal kuruluş, ormanların hem ekonomik verimliliğini, hem de toplumsal ve kültürel değerlerini dengeli bir şekilde artırmayı hedeflemektedir. (Eraslan, 1965). Optimal kuruluşu, Evcimen (1972)

“ormanların aktüel kuruluşlarının yetiştirme muhiti şartlarınca tam mümkün olabilecek en yüksek miktar ve kalitedeki hasılatı devamlı olarak almak amacı ile düzenlemelerinde, düzenleme işlemlerine temel olan ve yön veren önemli bir role sahiptir.” olarak tanımlamıştır. Eraslan (1953, 1963, 1965) ise, “ormancılık gayelerini gerçekleştirecek ve yetiştirme muhiti şartlarınca mümkün olan en yüksek miktar ve kalitedeki hasılatı devamlı olarak verebilecek kuruluştaki orman, olarak tarif etmekte ve optimal ormanın aynı zamanda kollektif, sosyal, kültürel ve estetik fayda ve etkilerinin en yüksek seviyede olduğunu bildirerek, «Optimal kuruluş, ormancılık ilim ve tekniğinin yaratmayı amaç güttüğü ve gücü yettiği bir kuruluştur»” olarak ifade etmiştir (Evcimen 1972). Asan (2017)’ye göre “optimal kuruluş”; ormandan beklenen fonksiyonları en iyi şekilde yerine getirmek üzere tahsis edilen işletme sınıflarında, meşcere kuruluşlarının bütün halinde düzenli bulunmasıdır. Birbirinden farklı orman fonksiyonlarını en iyi şekilde yerine getiren meşcere kuruluşları değişik olacağından, optimal kuruluşlar da bu kuruluşlara bağlı olarak farklılık gösterecektir.

Optimal kuruluş, belirlenen işletme amacını temsil eden yapıya denmektedir. Bu yapı, belirlenen hedefe ulaşılması için gerekli olan koşulları ve düzenlemeleri içermektedir. Ormanın belirlenen işletme amacına uygun olarak işletilmesi, optimal kuruluşun gerçekleşmesini ve ormanın verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Optimal kuruluş, her işletme sınıfı için ayrı belirlenmektedir.

Planlama ünitelerinde sürdürülebilirlik, süreklilik ve optimal yapıya ulaşma faaliyetleri ise işletme sınıflarında gerçekleştirilmektedir. İşletme sınıfı; “değişik orman fonksiyonlarının işletme amacı ve koruma hedefi olarak öne çıkması veya orman formları ve işletme şekilleri yönünden farklı alanların bulunması durumunda ayrılan ve bu alanların, toplu veya parçalar hâlinde dağınık bulunmalarına bakılmaksızın taşıdıkları özelliklere göre bir araya getirilmesi ile oluşturulan devamlılık birimi” olarak tanımlanmaktadır (OGM, 2017). Ormancılıkta işletme sınıfları, ormanların yönetim ve kullanım biçimlerini düzenleyen kategorilerdir ve genellikle ekosistem özellikleri ve kullanım amaçlarına göre sınıflandırılmaktadır. Planlama sürecinde, ormanlar fonksiyonlarına göre ayrılmakta ve aynı zamanda yüklendiği fonksiyona göre belirli amaçlar doğrultusunda işletme sınıflarına ayrılmaktadır. İşletme sınıfları, ormanın hangi amaçla işletileceğini ormana müdahalelerle ormanı istenilen amaca ulaştırmak amaçlanmaktadır.

Toprak koruma işletme sınıfı, ormanların ayrılan fonksiyonlarında toprak koruma işlevlerini etkin bir şekilde yerine getirebilmesi için oluşturulacak olan bir işletme sınıfıdır.

Bu sınıfın amacı, toprak erozyonunu önlemek, toprak kalitesini artırmak ve ekosistemlerin devamlılığını sağlamak ve sağlığını korumaktır. Toprak koruma işletme sınıfı, özellikle eğimli araziler ve erozyona duyarlı meşcerelerden oluşturulmaktadır. Toprak koruma işletme sınıfı; teknik-bilimsel ölçüt ve göstergeler doğrultusunda belirlenmektedir. Eğimi %60-80 arasında olup, üzerindeki ormanın kapallılık, kök yapısı, ağaç sayısı gibi özellikleri nedeniyle toprak erozyonunun başladığı alanlar toprak koruma işletme sınıfı olarak ayrılmaktadır. Toprak koruma işletme sınıfının etkili bir şekilde uygulanması, yalnızca toprak koruma sağlamakla kalmamakta, aynı zamanda ekosistemlerin sağlığını da desteklemektedir. Bu tür yönetim stratejileri, tarım arazilerinin, yolların ve diğer altyapıların korunmasına yardımcı olmakta ve doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimini teşvik etmektedir. Sonuç olarak, toprak koruma işletme sınıfı, ormanların toprak koruma işlevlerini optimize etmek ve uzun vadeli ekosistem sağlığını korumak için kritik bir araçtır. Bununla birlikte, bir işletme sınıfının en uygun meşcere kuruluşunun ne olması gerektiği konusunda boşluk bulunmaktadır.

Planlama birimlerinde odun üretimi işletme sınıflarında optimal kuruluşların ortaya konmasında meşcerelerin yapısı, servet ve artımını verim gücüne ve yaşa dayalı olarak incelemeye ve değerlendirmeye sağlayan saf müdahale görmemiş doğal meşcereler için düzenlenen hasılat tabloları kullanılmaktadır. Planlayıcılar, hasılat tablolarından yaş ve bonitete göre işletme sınıfının idare süresine göre hacim, artım, ağaç sayısı gibi değerleri elde edebilmektedir. Yararlanmanın düzenlenmesinde yaş sınıfları metodunun kullanıldığı odun üretimi amacıyla işletilen ormanlarda, idare süresi sonunda optimal kuruluşa ulaşılacağı ve sürekliliğin sağlanacağı öngörülmektedir. Üretim işletme sınıflarında optimal kuruluş işletme şekline, orman formuna, ağaç türüne ve amenajman metoduna göre değişkenlik göstermektedir. Optimal kuruluş, üretim odaklı işletme sınıfları için hasılat tablolarından elde edilirken, koruma ve hizmet fonksiyonlu işletme sınıflarında rasyonel değerler bulunmamaktadır. Koruma ve hizmet fonksiyonlu ormanların yapısı hakkında yapılan çalışmalar sınırlıdır ve sayısal değerlere dönüştürülememiştir. Dolayısıyla, ülkemizde koruma hedefleri işletme amaçlı ormanların veya meşcerelerin optimal kuruluşları henüz sayısal veya grafik olarak ortaya konmamıştır. Dünyada ve ülkemizde ormanlarda koruma ve hizmet amaçlı fonksiyonlar için yapılan çok az bilimsel çalışma mevcuttur. Çalışma konusunun zaman alıcı ve yoğun emek gerektiriyor olması, bu kapsamdaki çalışmalara olan eğilimi azaltmaktadır.

Meşcere göğüs yüzeyi ile erozyon etkinliği arasında doğru bir orantı bulunmaktadır. Bu ilişki, meşcere göğüs yüzeyi arttıkça erozyon önleme etkisinin de artmasıyla kendini göstermektedir (Kalıpsız, 1982; Asan ve Şengönül, (1987). Artan göğüs yüzeyi, ağaçların toprağı koruma kapasitesini artırarak, yüzey akışını azaltmakta ve suyun toprağı sızmasını kolaylaştırarak erozyonu engellemeye katkıda bulunmaktadır. Asan vd. (1987) tepe çatısı ile erozyon arasında kuvvetli bir korelasyon olduğu, tepe çatısının zayıflamasıyla erozyon miktarının arttığı ve orman örtüsünün yok olmasıyla en yüksek seviyeye çıktığını ortaya koymuştur. 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 göstermektedir. Ağaç türü ve meşcere kuruluşlarının erozyon üzerindeki etkilerinin belirlemek için yapılan çalışmalarda derinlikleri 1 metreden az olan topraklarda ağaçların ana kayaya giden kazık ve ince kökleri sayesinde toprak kaymasını engellediğini göstermiştir.

Koruma amaçlı ormanlarda, optimal ağaç serveti hesaplamalarında yalnızca sıklık dereceleri kararlaştırılması yeterli görülürken, ana ve yan meşcerelerin değerleri sıklık dereceleri ile çarpılarak bulunmaktadır (Bozali 2020). Asan'a (2009) atfen Bozali (2020), sıklık derecelerini yaban hayatında 0,6; hidrolojik fonksiyonlarda 0-%30 eğim arasında olanlar için 0,6; %31-60 eğim arasında olanlar için 0,8; ve bunların dışında kalmakta olup daha fazla eğime sahip alanlar için 0,90 olarak kabul etmiştir. Erozyon tehlikesinin yüksek olduğu %100'den daha dik ve sarp alanlarda sıklık derecesi 1, yani ana amacı odun üretimi olan işletme sınıflarına eşit olarak alınması önerilmiştir.

Orman amenajman yönetmeliğinde Doğu Kayını ve Doğu Ladini hasılat tabloları verileri kullanılarak, devamlı ormanlar için optimal tablolar elde edilmiştir. Hasılat tablolarında optimal ağaç sayısı ve optimal göğüs yüzeyi üretilmiştir. Devamlı ormanlarda, hasılat tablolarında 72, 60 ve 48 cm çap değerleri için sırasıyla; 180, 150 ve 120 yaşa kadar olan değerler kullanılmıştır. Değişik yaşlı ormanlar için, hasılat tablolarındaki her 10 yaşa ait değerlerin 1/18'i alınarak, 18 değişik yaş için hektardaki ağaç sayısı ve göğüs yüzeyi değerleri üretilmiştir. Hektardaki ağaç sayısı değeri 0,85 katsayısı ile çarpılarak çok tabakalı meşcerede ağaç sayısına yaklaşması sağlanmıştır (OGM, 2017).

1.6. Toprak Kaybı ve Meşcere Bileşenleri İlişkisi

Ormanlar, su döngüsünde önemli bir rol oynar ve intersepsiyon bu sürecin temel bileşenlerinden biridir. İntersepsiyon, yağmur suyunun ağaçların yaprakları, dalları ve gövdeleri tarafından tutulması ve bu suyun bir kısmının buharlaşarak atmosfere geri dönmesi sürecidir. Bu olay, toprak yüzeyine ulaşan yağış miktarını doğrudan etkiler. Belgrad Ormanı'nda yapılan beş yıllık bir araştırmada, kayın, meşe ve çam meşcerelerinde yağışın nasıl dağıldığı incelenmiştir. Araştırmada, açık sahada ölçülen yağış miktarı, ağaçların tepe çatısından geçen yağış, gövdeden akış ve toprak nemi gibi faktörler dikkate alınmıştır. Elde edilen verilere göre, tepe çatısından geçen yağış kayın ormanlarında %67,1, meşe ormanlarında %69,1 ve çam ormanlarında %64,9 olarak ölçülmüştür. Gövdeden akış miktarı ise kayın ormanlarında %15,5, meşe ormanlarında %10,9 ve çam ormanlarında %4 seviyesinde gerçekleşmiştir. İntersepsiyon oranı, kayın ormanlarında %17,4, meşe ormanlarında %20 ve çam ormanlarında %31,1 olarak belirlenmiştir. Çam ağaçlarının iğne yapraklı yapısı nedeniyle daha fazla yağış tepe çatısında tutulmaktadır. Bu bulgular, ormanların su ekonomisi üzerindeki etkisini göstermekte ve özellikle suyun kıt olduğu bölgelerde orman yoğunluğunun yönetilmesinin toprak nemini artırabileceğini ortaya koymaktadır (Eruz, 1969). Türkiye'deki farklı bitki örtüsü türlerinin su döngüsündeki rolünü inceleyerek, çeşitli vejetasyon tiplerinin intersepsiyon oranlarını belirlemişlerdir. Araştırmalarında, yapraklı ve ibreli ormanlarda intersepsiyon oranının %17 ile %31 arasında değiştiğini ortaya koymuşlardır. Çalı formasyonlarında bu oran %4 ile %14 arasında, çayır vejetasyonunda ise %6 ile %17 arasında tespit edilmiştir. Bu bulgular, farklı bitki örtüsü tiplerinin yağışın tutulması ve toprak yüzeyine ulaşan su miktarının düzenlenmesinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir (Balcı vd., 1966).

Erozyonu önleme fonksiyonun orman amenajman planlarına entegrasyonu için, dünyada ve ülkemizde araştırmacılar çok sayıda çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalarda, erozyon miktarı ile meşcere bileşenleri ortaya konmaya çalışılmıştır.

Gül (2001), Trabzon-Maçka Orman İşletme Müdürlüğü Ormanüstü Planlama Birimi'nde doğrusal programlama yöntemi kullanarak ormanların işlevlerine göre işletme sınıflarına ayrılmasını ve çok amaçlı planlama süreçlerinin matematiksel modellerle gerçekleştirilmesini amaçlamaktadır. Araştırma, odun üretimi, toprak erozyonunu önleme, su üretimi, doğa koruma, oksijen üretimi ve estetik değer gibi ekosistem hizmetlerinin bir arada değerlendirilmesini ve bu hizmetlerin optimize edilmesini hedeflemektedir. Model

çözümlerinde, doğa koruma ve estetik değer işlevlerine yönelik ayrı işletme sınıfları ayrılmamış, ancak bu işlevlerin odun üretimi, toprak erozyonunu önleme, su ve oksijen üretimi işletme sınıfları içinde korunması sağlanmıştır. Planlama süresi boyunca toprak erozyonu, su üretimi, oksijen üretimi ve estetik değer üretimi işlevleri, belirlenen sınırlar dahilinde tutulmuştur. Modeller arasında odun üretimi için ayrılan alan miktarında azalma gözlemlenmiş, odun dışındaki işlevlerin alan kullanımı ise artmıştır. Matematiksel modellerin geliştirilmesi ve uygulanması sürecinde, odun üretimi ile birlikte ekosistem hizmetlerinin optimizasyonu hedeflenmiş, böylece fonksiyonel planlama yaklaşımının orman yönetimindeki rolü vurgulanmıştır. Çalışmada, doğrusal programlama yöntemi kullanılarak orman planlamasında ekolojik, ekonomik ve sosyal işlevlerin bütüncül bir şekilde ele alınabileceği ortaya konmuştur.

Mısır (2001), Trabzon-Maçka Ormanüstü planlama biriminde gerçekleştirdiği çalışmada, nesne tabanlı programlama tekniğiyle geliştirdiği yazılımda, çok amaçlı bir orman amenajman planlama modeli oluşturmak için amaç programlama tekniğini kullanmıştır. Bu çalışmada, nesne tabanlı Delphi programlama dili ile “ÇAPMOD” adlı bir model yazılımı geliştirilmiştir. Çalışmada; odun üretimi, toprak erozyonunu önleme ve su üretimi gibi farklı orman fonksiyonları için çok amaçlı planlama modelleri oluşturulmuştur. Araştırma alanındaki erozyon miktarının belirlenmesi amacıyla Ünlü Toprak Kayıpları Tahmini Eşitliği (USLE) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, erozyonu önleme veya su üretimi gibi hedefler birinci öncelik olduğunda bile, klasik planlama yaklaşımlarına kıyasla daha fazla odun üretimi sağlanabilmiştir. Bu, amaç programlamanın alternatifler sunarak çeşitli orman fonksiyonları arasındaki dengeyi daha etkin bir şekilde kurabilme potansiyelini göstermiştir.

Karahalil (2003), Gümüşhane Karanlıkdere planlama biriminde faydalanmanın düzenlemesi için doğrusal programlama yöntemi kullanmıştır. Konumsal verilerin elde edilmesi, analizinde CBS kullanılmıştır. Çalışmada, 23 adet strateji içeren doğrusal programlama modelleri geliştirilmiş olup, odun üretiminin eniyilenmesi, odun üretiminden elde edilen NBD'nin eniyilenmesi, toprak kaybının minimizasyonu ve toprak kaybı ile oluşan NBD'nin minimum yapılması için dört farklı amaç fonksiyonu temel alınmıştır. Geliştirilen stratejilerden birisi amaç fonksiyonunda toprak kaybı miktarını minimum olması ve kısıt olarak ise eta değişimi %10'dan fazla olmaması olarak belirlenmiştir. Meydana gelen toprak kaybının net bugünkü değerinin en büyük miktarı 178 trilyon TL

olarak bulunmuştur. Böylece, çok amaçlı planlama ile toprak koruma ve odun üretimi fonksiyonları sayısal olarak ortaya konulmuştur.

Yılmaz vd. (2015), tarafından Pozantı Orman İşletme Şefliği'nde gerçekleştirilen çalışmada, orman amenajman planlarının sosyal boyutu incelenmiş ve katılımcı yaklaşım yardımıyla orman kaynaklarının yönetimiyle ilgili stratejiler geliştirilmiştir. Araştırmada kullanılan veriler arasında SWOT analizleri, katılımcıların ihtiyaç ve beklentilerini ölçmeye yönelik bilgi formları ve çok kriterli karar verme teknikleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerle; yerel halk ve ilgi-çıkarcı gruplarının görüşleri alınmış ve analiz edilmiştir. Toprak kaybı denklemleri doğrudan kullanılmamış, ancak erozyon kontrolü ve biyolojik çeşitlilik gibi çevresel işlevler, yönetim planlarında değerlendirilmiştir. Pozantı Orman İşletme Şefliği'ndeki orman kaynakları için en önemli işlevler sırasıyla çevresel işlevler (biyolojik çeşitlilik, erozyon önleme, yaban hayatı ve iklim düzenleme) ve odun hammaddesi üretimi olmuştur. Ayrıca nitelikli su üretimi de önemli bir işlev olarak belirlenmiştir. Erozyon kontrolü açısından, çevresel işlevlerin korunması ve geliştirilmesi, planlamada öncelikli hale getirilmiştir. Erozyon ve diğer çevresel işlevlerin önceliklendirilmesi için Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, farklı katılımcı grupların (orman teşkilatı, yerel halk, kamu kurumları) erozyon ve çevresel işlevlere verdikleri öncelikleri sayısal olarak analiz edilmesini sağlamıştır. Erozyon önleme faaliyetleri, çevresel işlevler arasında en öncelikli işlevlerden biri olarak belirlenmiştir. Bu da, orman kaynaklarının yönetiminde erozyon kontrolünün kritik bir öneme sahip olduğunu göstermiştir. Erozyon önleyici işlevler, biyolojik çeşitliliği koruma ve iklim düzenleme gibi diğer çevresel işlevlerle birlikte ele alınmış ve orman kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için önceliklendirilmiştir.

Keleş vd. (2005), Gümüşhane-Karanlıkdere planlama biriminde yaptıkları çalışmada ormanların odun üretimi, su üretimi ve toprak koruma fonksiyonlarını doğrusal programlama yöntemi kullanarak bu fonksiyonların orman amenajman planlarına entegrasyonunun sağlanmasını amaçlamışlardır. Çalışmada orman yapısı, su üretimi, toprak özellikleri ve toprak kaybı miktarları verilerini kullanmışlar, bu veriler, planlama birimindeki ormanların mevcut yapısı ile ilişkiye getirilmiştir. Su üretimi verileri, meşcere göğüs yüzeyi ve diğer ekolojik faktörler göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Toprak kaybı verileri ise, erozyon miktarları (ton/ha/yıl) ve çevresel faktörler ile değerlendirilmiştir. Çalışmada doğrusal programlama tekniği kullanılmıştır. Bu teknik, planlama birimindeki odun üretimi, su üretimi ve toprak kaybı miktarlarının optimizasyonu

için kullanılmış olup, modeller LINDO paket programı ile çözülmüş ve çok amaçlı doğrusal programlama stratejileri geliştirilmiştir. Özellikle erozyon kontrolü için, Değiştirilmiş Üiversal Toprak Kaybı Denklemi (RUSLE) kullanılarak toprak kaybı miktarları analiz edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, doğrusal programlama yöntemi ile ormanların odun üretimi, su üretimi ve toprak koruma fonksiyonlarının başarılı bir şekilde entegre edilebileceğini göstermiştir. Ormanların çok amaçlı bir yaklaşımla planlanabileceğini ve sürdürülebilir ormancılık için etkili bir strateji oluşturulabileceği ortaya konulmuştur. Toprak kaybı kontrolü için geliştirilen stratejiler, açıklık alanların ilk periyotta ağaçlandırılması ve meşcerelerin gençleştirilmesiyle en düşük toprak kaybı miktarlarının elde edilmesini sağlamıştır. Çalışma, yalnızca odun üretiminin değil, su üretimi ve toprak koruma gibi fonksiyonların da dikkate alınmasının gerektiğini vurgulamıştır.

Mısır vd. (2007), yaptıkları çalışmada; çok amaçlı orman amenajman planlaması için uygun bir toprak kaybı modelinin geliştirilmesini hedeflemişlerdir. Çalışmada, 132 kalıcı örnek alandan alınan veriler kullanılmış ve bu verilerin %80'i model geliştirme, %20'si ise model doğrulama için ayrılmıştır. Toprak kaybı tahmininde kullanılan model, Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (USLE) yöntemi ile geliştirilmiş olup, açıklayıcı değişkenler olarak ortalama çap ve ağaç sayısı kullanılmıştır. Bu değişkenler, toprak kaybının tahmininde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,001$). Çalışmanın sonuçları, geliştirilen modelin toprak kaybı tahmininde oldukça güvenilir olduğunu göstermiştir ve model, özellikle Ladin meşcerelerinde aralama faaliyetlerinde kullanılmak üzere önerilmiştir.

Keleş vd. (2007), Artvin Planlama Biriminde yaptıkları çalışmada, seçilen orman ekosistem hizmetlerini (toprak koruma, karbon tutma, görsel kalite, odun, su ve oksijen üretimi) doğrusal programlama yöntemi kullanarak orman amenajman planlarına entegre etmişlerdir. Çalışmada orman yapısı, ağaç türleri, gelişme çağıları, yaş sınıfı dağılımı ve orman alanının ekosistem hizmetleri ile ilgili veriler ölçümlerden elde edilmiştir. Toprak kaybı miktarları (ton/ha/yıl) ilgili çevresel faktörler üzerinden değerlendirilmiş ve Üiversal Toprak Kaybı Denklemi (USLE) ile analiz edilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, doğrusal programlama ile geliştirilen yönetim stratejileri, odun üretimi, karbon tutma ve toprak koruma gibi ekosistem hizmetlerinin uzun vadeli korunmasında önemli rol oynamaktadır. Toprak kaybı miktarları, orman alanlarında yapılan silvikültürel müdahaleler ile azaltılmış ve özellikle koruma stratejilerinin uygulandığı alanlarda toprak kayıplarının minimum düzeye indiği görülmüştür. Toprak kaybı değerleri; üretim yapılan

alan miktarı azaldıkça toprak kaybının azaldığını ve korunan alanların toprak erozyonunu azaltmada etkili olduğunu göstermiştir.

Başkent vd. (2008), tarafından Artvin’de yapılan çalışmada, odun üretimi, karbon depolama ve oksijen üretimi hedefleri doğrultusunda iki farklı orman yönetim yaklaşımı karşılaştırılmıştır. Çalışmada, orman envanteri, karbon ve oksijen verileri, arazi yapısı ve erozyon verileri kullanılmıştır. Odun üretimini modellemek için büyüme ve hasılat modelleri, karbon ve oksijen değerlerini tahmin etmek için ise oksijen ve karbon akış matrisi kullanılmış ve veriler doğrusal programlama modeli ile değerlendirilmiştir. Çok amaçlı planlama yaklaşımında, erozyon riski yüksek alanlar minimum müdahale ve koruma stratejileriyle yönetilmiştir. Eğimi %58-80 arasında değişen bu alanlarda, klasik odun üretimi yerine koruma odaklı yaklaşım tercih edilmiştir. Bu yaklaşım sonucunda, çok amaçlı yönetimde 462,9 bin ton karbon tutulmuş, klasik planlamada ise 574,3 bin ton karbon tutulmuştur. Erozyon duyarlılığı nedeniyle daha az kesim yapılan çok amaçlı planlamada net oksijen üretimi 3927,6 bin dolar olurken, geleneksel yönetimde bu değer 1938,9 bin dolar olmuştur. Çok amaçlı planlama, erozyon riski olan bölgelerde minimum müdahale stratejileri uygulayarak, toprağın korunmasına, erozyonun önlenmesine ve ekosistemin sürdürülebilirliğine katkıda bulunmuştur. Çok amaçlı planlama, geleneksel odun üretimine kıyasla daha az odun üretimi (87,241 m³ yerine 152,668 m³) sağlamasına rağmen, ekosistemin korunması, karbon tutma ve oksijen üretim değerlerini artırarak sürdürülebilir orman yönetimi açısından daha olumlu sonuçlar sunmuştur. Bu yaklaşım sonucunda üretimden kaynaklanan toprak bozulmasını ve su kaybını azaltarak, ormanın ekolojik işlevlerinin korunmasına yardımcı olmuştur.

Karahalil (2009), Köprülü Kanyon Milli Parkında yaptığı çalışmada korunan alanlar için amenajman planlarının düzenlenmesi ile korunan orman alanlarında sürdürülebilir yönetimin sağlanması amacıyla çok amaçlı planlama yaklaşımını uygulamıştır. Köprülü Kanyon Milli Parkı'nda yapılan bu çalışmada, odun üretimi, toprak erozyonunu önleme, su üretimi, karbon depolama, oksijen üretimi ve yangın riskini minimize etme gibi çeşitli fonksiyonların entegre edilerek optimize edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, doğrusal programlama yöntemi kullanılarak farklı stratejiler geliştirilmiş ve koruma-kullanım dengesini gözetten bir planlama yaklaşımı ortaya konmuştur. Erozyon verileri, toprak kaybı miktarları ve çevresel faktörler üzerinden değerlendirilmiştir. Bu verilerin analizinde doğrusal programlama modeli ve LINDO yazılımı kullanılmıştır. Erozyon denklemi olarak $A = R * K * L * S * C$ formülü kullanılmıştır. Analiz sonucunda, planlama sürecinde toprak

kaybının minimize edildiği ve erozyon kontrolünün başarılı bir şekilde sağlandığı ortaya konmuştur. Özellikle yangın riskinin yüksek olduğu dönemlerde ek müdahale stratejileri geliştirilmiştir. Çalışma, sürdürülebilir ormancılık yönetimi için önemli çıktılar sunmuş ve farklı fonksiyonların bir arada optimize edilebileceğini göstermiştir.

Karahalil vd. (2009), Gümüşhane – Karanlıkdere planlama biriminde orman amenajman planlarında odun üretimi, su üretimi ve toprak koruma gibi çeşitli orman hizmetlerini entegre eden çok amaçlı ve sürdürülebilir bir planlama modeli geliştirmiştir. Bu çalışma, doğrusal programlama (LP) tekniği kullanarak odun ve su üretimini maksimize ederken, toprak kaybını minimize eden stratejiler geliştirmeyi ve bu stratejilerin ekonomik performansını Net Bugünkü Değer (NBD) analizleriyle değerlendirmeyi hedeflemiştir. Çalışma, orman amenajman planlarının ekonomik, ekolojik ve sosyal değerlerin birlikte dikkate alındığı çok amaçlı bir yaklaşımla hazırlanmasının önemini vurgulamış ve sürdürülebilir orman yönetimi için modellemenin kaçınılmaz olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmada toprak kaybı tahminleri için Ünlversal Toprak Kaybı Eşitliği (USLE) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, toprak kaybını belirlemek için yağış, toprak türü, eğim ve bitki örtüsü gibi faktörleri dikkate alarak analizler yapmıştır. Elde edilen veriler, 83 örnek alanda yapılan ölçümler kullanılarak oluşturulmuş ve sonuçta göğüs yüzeyi ile toprak kaybı arasındaki ilişki ortaya konmuştur. Toprak kaybı sonuçları, farklı amenajman stratejileri kapsamında incelenmiş ve toprak kaybını minimize eden stratejilerin en düşük toprak kaybı NBD'sine ulaştığı görülmüştür. Bu stratejilerde, açık alanların büyük bir kısmı ilk dönemde ağaçlandırılarak toprak kaybı azaltılmıştır. Sonuçlar, yüksek göğüs yüzeyinin erozyon üzerindeki olumlu etkisini göstermiş; göğüs yüzeyi arttıkça toprak kaybı azalmıştır. Toprak kaybını önleyen bu stratejiler, orman kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır ve ekonomik, ekolojik fonksiyonların entegrasyonunun orman amenajmanında kritik bir rol oynadığını ortaya koymuştur.

Zengin vd. (2012), yaptıkları çalışmada ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama yaklaşımı ile ormanların su üretimi ve odun üretimi fonksiyonlarının sürdürülebilir yönetimini sağlamak için optimizasyondan yararlanmışlardır. Çalışmada kullanılan veriler arasında meşcere yapısı, eğim, toprak özellikleri, su üretimi ve odun üretimi gibi orman ekosistemine ait parametreler bulunmaktadır. Veriler, plan ünitesindeki ormanların mevcut yapısına ve arazi özelliklerine dayanarak toplanmıştır. Çalışmada “Tam Sayılı Programlama” yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, su üretimi ve odun üretimi

fonksiyonlarından elde edilecek toplam faydayı maksimize etmek amacıyla kullanılmıştır. Planlama sürecinde, kesim düzenlerinin oluşturulması ve orman amenajman stratejilerinin ortaya konması için matematiksel modeller geliştirilmiştir. Toprak kaybının hesaplanmasında Üniversal Toprak Kaybı Denklemi (USLE) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, amenajman stratejileri ile toprak kaybının başarılı şekilde azaltıldığını göstermiştir. Özellikle ağaçlandırma ve gençleştirme kesimlerinin ilk dönemlerde uygulanmasıyla, toprak kaybı önemli ölçüde kontrol altına alınmıştır. Sonuç olarak, çalışma, ekosistem tabanlı planlama ile toprak kaybının minimize edilerek sürdürülebilir ormancılık için önemli çıktılar elde edilebileceğini ortaya koymuştur.

Zengin vd. (2015), ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama süreci kapsamında, Belgrad ormanlarında odun üretimi ve su üretimi gibi fonksiyonları orman amenajman planına entegre etmek ve zaman ve mekan düzeninin optimizasyonunun sağlanmasını amaçlamışlardır. Özellikle, su üretimi ve odun üretimini maksimize edecek kesim düzeninin belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışmada kullanılan veriler arasında; orman yapısı, ağaç türleri, su üretim miktarı, toprak özellikleri, meşcere gelişim çağı, eğim ve toprak geçirgenliği gibi parametreler bulunmaktadır. Bu veriler, su üretimini etkileyen konumsal özellikler, meşcere hacmi ve gelişim çağı dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Karışık Tam Sayılı Programlama (Mixed Integer Goal Programming) yöntemi kullanılarak kesim düzeni ve amenajman stratejileri optimize edilmiştir; bu süreçte su üretimi ve odun üretimi arasında bir denge kurularak maksimum fayda sağlanması hedeflenmiştir. Toprak kaybı verileri doğrudan kullanılmamakla birlikte, orman yapısının ve amenajman stratejilerinin su üretimi üzerindeki dolaylı etkileri ele alınmış ve kesim planı, su kalitesini koruma ve sediment oluşumunu azaltma hedefleri doğrultusunda planlanmıştır. Sonuç olarak, odun üretimi ve su üretimi fonksiyonlarının entegre edilmesi ile ormanların sürdürülebilir yönetiminin sağlanabileceği ortaya konmuştur. Su üretimi için uygun olan meşcereelerin gençleştirme süreçleri geciktirilmiş ve bu sayede su veriminin artırılması sağlanmıştır. Bu çalışma, ekosistem tabanlı fonksiyonel planlamanın su yönetimi ve odun üretimi gibi çok amaçlı ormancılık faaliyetlerinde etkin kullanımına dair önemli çıkarımlar sunmuştur.

Hagr (2019), Sudan'da Sinnar Eyaletinde Okalama ormanlarında yaptığı çalışmada sakız üretimi, toprak koruma, su üretimi ve odun üretimi gibi birden fazla ekosistem hizmetini doğrusal programlama modeli kullanarak orman amenajman planlarına entegre etmeyi amaçlamıştır. Bu yaklaşım, ekolojik bütünlüğü bozmadan orman kaynaklarının faydasını en üst düzeye çıkarmayı hedeflemiştir. 2016-2025 yılları için hazırlanan

Okalama Ormanı amenajman planından elde edilen envanter verileri kullanılmıştır. Bu veriler; orman yapısı, ağaç çapı ve hacmi gibi meşcere özelliklerini değerlendirmek için kullanılmıştır. Orman amenajman planlarını optimize etmek için doğrusal programlama yöntemi kullanılmıştır. Model, orman yapısını ekosistem hizmet değerleriyle ilişkilendiren regresyon denklemlerini içermekte olup, LINGO™ yazılımı ile çözülmüştür. Planlamada Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (USLE) kullanılmıştır. Geliştirilen formül, göğüs çapı (dbh) ve göğüs yüzeyi (BA) gibi orman yapısal verilerini kullanarak yaklaşık toprak kaybını belirlemektedir. Denkleme göre, göğüs yüzeyindeki artış erozyon miktarını azaltmaktadır. Çalışmada, farklı stratejiler için toplam toprak kaybı miktarları hesaplanmıştır. Toprak kaybı miktarları genellikle tüm stratejilerde benzer seviyelerde kalmakla birlikte, belirli kısıtlarla toprak kaybı azaltılmaya çalışılmıştır. Bu sonuçlar, erozyon kontrolüne yönelik planlamaların toprak koruma hedeflerine ulaşmada etkili olduğunu göstermektedir. Çalışma, orman amenajmanında ekosistem hizmetlerinin korunması için erozyon kontrolünün önemini vurgulamaktadır.

Vatandaşlar (2020), yapmış olduğu çalışmada; çalışma alanı olarak Veliköy ve Olur Planlama Birimlerini seçmiştir. Çalışmada, ormanların erozyonu önleme fonksiyonunu sayısallaştırarak, bu fonksiyonun orman amenajman planlarına entegrasyonu hedeflenmiştir. Çalışmada Yenilenmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (RUSLE) modeli kullanılarak, yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri yardımıyla erozyon risk haritaları oluşturulmuştur. Toplam 250 örnek alanda ağaç serveti ve artım envanteri yapılmış, örnek alanlarda ölü örtü kalınlığı, diri örtü yüksekliği gibi birçok değişken ölçülmüş ve üst toprak örnekleri toplanarak laboratuvar analizleri gerçekleştirilmiştir. İki senaryo geliştirilmiş; sonuçlar, normal kapalılıktaki ormanların (%10 ve üzeri kapalılık), çıplak saha koşullarına göre erozyonu %95'e varan oranlarda azaltabildiğini göstermiştir. Değişik yaşlı seçme ormanlar (GD, GLD, LA gibi meşcere tipleri) ve aynı yaşlı maktalı ormanlar (Çsc3, Çscd3, LGÇscd3) erozyonu en iyi şekilde önlemiştir. Bu meşcere tiplerinde neredeyse hiç erozyon yaşanmamıştır. Ormanların erozyonu önleme performansını artırmak için değişik yaşlı seçme kuruluşların tercih edilmesi, bu mümkün değilse saf ibreli, çok katlı ve sık meşcerelerin kurulması önerilmiştir. Bu çalışma, ormanların sadece ekonomik değil, ekolojik fonksiyonlarının da sürdürülebilir yönetim planlarına entegre edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Bozali (2021), yaptığı çalışmada; Adıyaman Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Çelikhane Orman İşletme Şefliği'nde, orman fonksiyonlarının belirlenmesini ve bu

fonksiyonların orman amenajman planlarına entegrasyonu için bir metodoloji geliştirilmesini hedeflemiştir. Çalışmada kullanılan veriler; Şanlıurfa Orman Müdürlüğü'nden temin edilen sayısal meşcere tipleri haritası, 1/25.000 ölçekli sayısal topoğrafik haritalar, Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü'nün 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası ve sahada gerçekleştirilen arazi ölçümlerinden elde edilen verilerden oluşmaktadır. Çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak mevcut orman alanlarının ekolojik, ekonomik ve sosyal fonksiyonları analiz edilmiş ve bu fonksiyonlara göre önceliklendirme yapılmıştır. Toprak kaybı ve meşcere ilişkisi, çalışmada kritik bir odak noktası olmuştur. Özellikle, farklı meşcere yapılarının ve kapalılıkların toprak kaybı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Meşcere kapalılığının artması, toprak yüzeyini yağmur darbelerinden koruyarak yüzey akışını ve buna bağlı olarak toprak kaybını önemli ölçüde azaltmaktadır. Çalışmada, yüksek kapalılıktaki ormanların çıplak sahalara göre erozyonu önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir. Yoğun ve sık meşcere yapılarının, özellikle yüksek eğimli alanlarda, toprağı sıkıca tutarak toprak kaybını minimize ettiği belirlenmiştir. Erozyon kontrolü, toprak koruma fonksiyonunun bir parçası olarak ele alınmış ve bu kapsamda orman amenajman planlarına entegre edilmiştir. Toprak kaybı ve meşcere arasındaki ilişkiler dikkate alınarak, ormanların toprak kaybını önleme kapasitelerinin maksimize edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Çalışma, orman amenajman planlarında fonksiyonel entegrasyonun gerekliliğini vurgulamakta ve bu doğrultuda yönetsel öneriler sunmaktadır. Bu kapsamda, ormanların çok amaçlı kullanımının optimize edilmesi, ekosistem hizmetlerinin korunması ve sürdürülebilir orman yönetimi için stratejik bir yaklaşım önerilmektedir.

1.7. Toprak Kaybını Belirleme Yöntemleri

Toprak kaybı (erozyon); toprak, kaya veya başka yüzeylerin doğal veya insan kaynaklı etkilerle aşındırılması veya taşınması süreci olarak tanımlanmaktadır. Bu süreç; genellikle rüzgar, su, buz gibi doğal etmenlerin yanı sıra tarım, ormancılık, inşaat faaliyetleri gibi insan etkinlikleriyle de ilişkilidir. Erozyon, farklı doğal ve insan kaynaklı etmenlerin etkisiyle ortaya çıkan çeşitli tiplerde meydana gelmektedir:

- ❖ Su Erozyonu: Yağmur, nehir, akarsu ve sel gibi su hareketleri toprak erozyonunun en yaygın nedenleridir. Su erozyonu; yüzey akışı, sulama erozyonu

ve toprak parçalarının akıntıyla taşınması gibi farklı formlarda görülebilmektedir.

- ❖ Rüzgar Erozyonu: Rüzgarın gücüyle toprağın taşınması ve aşındırılması olarak tanımlanmaktadır. Özellikle kurak ve açık bölgelerde, tarım arazilerinde ve çöl alanlarında yaygın olarak görülmektedir.
- ❖ Buzul Erozyonu: Buzulların hareketi ve aşındırma etkisi sonucu oluşmaktadır. Buzul erozyonu, dağlık bölgelerde vadilerin oluşmasına, kayaların yontulmasına ve buzul gölleri ve vadilerin şekillenmesine neden olabilmektedir.
- ❖ Kıyı Erozyonu: Deniz dalgaları, gelgit akıntıları ve rüzgarın etkisiyle kıyı şeritlerindeki toprağın aşındırılmasıdır. Kıyı erozyonu, sahil şeritlerinde toprak kaybına ve kıyısız habitatların zarar görmesine neden olabilmektedir.
- ❖ Tarım Erozyonu: Toprak işleme yöntemleri, bitki örtüsünün eksikliği ve erozyon kontrol tedbirlerinin alınmaması gibi tarımsal faaliyetlerin neden olduğu erozyon çeşididir.

Doğal kaynaklarının kıt olmasıyla ve yenilenme süreçleri çok uzun zaman almalarıyla birlikte her geçen gün dünya nüfusunun artması toprak üzerindeki baskıyı artırmaktadır. Toprak erozyonu, özellikle dik alanlarda doğal bir süreçtir. Ancak kötü yönetim uygulamaları toprakların aşındırma potansiyelini de artırabilmektedir (Panagos vd., 2015). Bununla birlikte devam eden süreçlerde; arazi bozulumu, biyolojik, sosyal ve ekonomik hizmetleri sağlama amacıyla arazinin bozulmasından etkilenen ekosistemlerin kapasitesindeki bütün değişiklikleri kapsayan daha geniş bir ölçekte karşımıza çıkmaktadır. Su ve rüzgar erozyonu, üst toprak kaybına ve arazi bozulmasına neden olan en önemli etmenlerin başında yer almaktadır (UNEP, 2015). Buradaki temel eksiklik planlamanın olmaması ve yanlış arazi kullanımı olmaktadır. Dünyada kara ekosistemlerinde, su ve rüzgar erozyonu önemli miktarlarda toprak kaybına neden olmakta, her yıl 75 milyar ton toprak kaybı meydana gelmektedir (Garg & Harrison, 1992; Eswaran vd., 2019). Ülkemiz meydana gelen toprak kaybının % 99'unda su erozyonu, geriye kalan % 1'in de ise rüzgar erozyonu etkili olmaktadır (DPT, 2001; Değerliyurt, 2013).

Borrelli vd. (2017) 63 ülkeyi kapsayan RUSLE yöntemi kullanarak yaptığı araştırmada, 2001 ve 2012 yılları için yapılan yıllık toprak erozyonu değişimini incelemiştir. Mevcut senaryolara göre; 2001 yılına göre kıta bazında Güney Amerika ($3,53 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$) en fazla ortalama erozyona sahip olurken, Güney Amerika'yı sırasıyla Afrika ($3,51 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$) ve Asya ($3,47 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$) takip etmektedir. Kuzey Amerika,

Avrupa ve Okyanusya ise sırasıyla 2,23, 0,92 ve 0,9 Mg ha⁻¹ yıl⁻¹ gibi oldukça düşük değerlerde bulunmuştur. 2012 yılına gelindiğinde Afrika % 10 artışla (3,88 Mg ha⁻¹ yıl⁻¹) en yüksek toprak erozyonuna sahip kıta olurken, Çin ve Hindistan'da yoğun nüfus artışına rağmen toprak erozyonunda düşüş olduğu gözlemlenmiştir.

Arazi varlığımızın %47,98'inde eğim dikliği %20'yi, %62,15'inde ise %12'yi aşmaktadır. Bununla beraber, %2-20 eğim aralığındaki arazilerimizin toplam alanı yalnızca 29,7 milyon hektardır. Organik madde içeriği bakımından, topraklarımızın sadece %14'ü %2'nin üzerinde bir değere sahiptir. Ancak, %64'ünde bu oran %1'in altındadır. Etkili toprak derinlikleri incelendiğinde ise, arazilerimizin %37,2'sinin 0-20 cm gibi işlemeli tarıma uygun olmayan bir derinliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Bu veriler, ülkemizin topraklarının büyük bölümünde eğim ve düşük organik madde içeriği nedeniyle tarım ve orman yönetimi açısından ciddi kısıtlamalar olduğunu göstermektedir (Anonim, 1978; Anonim, 1982; Çanga & Erpul, 1994; Erpul & Saygın, 2012).

Erozyon miktarının tahmininde bazı şartlar ve parametreler belirlendiği ve bilindiği zaman, belirli bir hata payı ile oluşan toprak kaybı miktarı hesaplanabilmektedir. Bu hesaplamalar ile toprak kaybı miktarı göz ardı edilebilir olup olmadığı değerlendirmeye tabi tutularak, bu miktarlara göre arazide erozyon önleme faaliyetleri yapılabilir. Verimli toprak tabakasının kaybolmasıyla arazi verimsizleşmeye başlamaktadır. Bu sebeple arazilerde birim alanda (1 ha) belirli bir periyotta (1 yıl) meydana gelen toprak kaybı miktarının birimi (ton) tahmin edilmesi gerekmektedir (Renard vd., 1997; Vatandaşlar, 2015). Toprak kaybı konusundaki çalışmalar 20. yy. başlarından beri hız kazanmakta olup, başlarda temel parametre olarak akışa geçen su miktarını tahmin edilmesi ve hareket eden sediment miktarının belirlenmesi ana amacı oluştururken, son 20 yılda bilgisayar tabanlı modellerin gelişmesi ile erozyona hassas arazilerin tespiti ve toprağın aşınması çalışmaları hız kazanmıştır. Bu konudaki matematiksel modeller deneysel (ampirik), kavramsal ve fiziksel (mekansal) olmak üzere 3 ana başlık altında toplanmaktadır. (Igwe vd., 2017; Renschler & Harbor, 2002; Merrit vd., 2003; Pandey vd., 2016; Alevkaya & Abi, 2023).

Alevkayalı vd. (2023) toprak erozyonunu tahmin etmek için çeşitli mekânsal veriler kullanmıştır. Çalışmada, toprak erozyonunu tahmin etmek için sediment taşınımı, iklim, topografya, bitki örtüsü, toprak özellikleri ve arazi kullanımı gibi veriler kullanılmıştır. Bu parametreler, deneysel ölçümler ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) gibi mekânsal analiz teknolojileri yardımıyla değerlendirilmiştir. Araştırmada, USLE/RUSLE (Evrensel Toprak Kaybı Denklemi), SWAT (Soiland Water Assessment Tool), WEPP (Water Erosion

Prediction Project) gibi fiziksel modellerin yanı sıra, “Destek Vektör Makineleri” ve “Rastgele Ağaçlar” gibi makine öğrenmesi yaklaşımları da kullanılmıştır. Sonuçlar, makine öğrenmesi yöntemlerinin fiziksel modellere kıyasla daha yüksek doğrulukta erozyon tahminleri sağladığını göstermiştir. Erozyon tahminlerinde USLE/RUSLE modeli, yağış, toprak aşınabilirlik, eğim uzunluğu ve dikliği gibi faktörleri dikkate alarak toprak kaybı miktarını hesaplamıştır. Çalışmanın bulguları, yüksek eğimli ve bitki örtüsünden yoksun bölgelerde toprak kaybı riskinin daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen veriler, toprak koruma önlemlerinin etkili olduğu bölgelerin belirlenmesine katkı sağlamış ve bu alanlar için uygun stratejiler geliştirilmiştir.

Deneysel modeller; erozyon ile taşınan sediment miktarının ve tekstür özelliklerinin belirli noktalarda yapılan yersel ölçümlerle elde edilen sonuçlarının matematiksel formüllerle dönüştürülmesidir (Eisazadeh vd., 2012; Alevkaya ve Abi, 2023). Universal Soil Loss Equation (USLE) / Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (ETKE) (Wischmeier ve Smith, 1978) ve bu modelden türetilen Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) / Yenilenmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (YETKE) (Renard vd., 1997) en yaygın olarak kullanmakta olan ampirik erozyon modellerdir. (Fıstıkoğlu & Harmancıoğlu, 2002; Pan & Wen, 2014; Vatandaşlar, 2020).

Kavramsal modeller, havzada etkili olan dış süreçlerin genel durumunu dikkate alarak, havza içindeki süreçlerin gruplara ayrılmasını sağlayan matematiksel tahminlerdir. Bu modeller, havzanın genel özelliklerini ayrıntıya girmeden, pratik ve basit matematiksel ilişkilerle açıklamaya çalışmaktadır. Kavramsal modeller, karmaşık süreçleri daha anlaşılır hale getirerek, havza yönetimi ve planlaması için hızlı ve etkili bir değerlendirme imkanı sunar. Bu sayede, havzanın genel davranışları ve özellikleri üzerinde öngörülerde bulunmak mümkün olur, bu da yönetim stratejilerinin geliştirilmesinde önemli rol oynar (Parsons vd., 2004; Dutta, 2016; Alevkaya & Abi, 2023)

Fiziksel modeller; sediment taşınması ve birikim süreçlerinin zaman ve mekan düzeyinde topoğrafya, jeoloji, arazi kullanımı, iklim, vejetasyon örtüsü ve akım birlikte değerlendirilmesine bağlıdır (Chandramohan vd., 2015). Birbirinden farklı parametre ve model yapısına sahip olan WEPP (Nearing vd., 1989), SWAT (Arnold vd., 1998), EUROSEM (Morgan vd., 1998), PESERA (Kirkby vd., 2004) ve SHETRAN (Ewen vd., 2000) gibi modeller de ön plana çıkmaktadır (Vatandaşlar, 2020).

Son yıllarda toprak erozyonu çalışmaları değerlendirildiğinde; modellerin avantajları olduğu gibi dezavantajları da bulunmakta, çalışmanın amacına göre su-toprak ilişkisi

yönünden değerlendirilmesi gerektiğinde (SWAT), aylık ve yıllık tahminde bulunulmak istenildiğinde (PERASA), erozyon duyarlılık modellemesinde ki (USLE/RUSLE) gibi farklı model çalışmalarda tercih edilmektedir. Çalışma amacı ve model parametrelerine göre değişkenlik gösteren başlıca toprak kaybı tahmin modelleri aşağıda özetlenmiştir.

PESERA: Pan-Avrupa Toprak Erozyonu Risk Değerlendirmesi (PESERA); sudan kaynaklanan toprak erozyonunu ölçmek ve Avrupa genelindeki riskini değerlendirmek için süreç bazlı ve mekansal olarak dağıtılmış bir model kullanmaktadır. PESERA modelinin kavramsal temeli, toprak işleme ve rüzgar erozyonu tahminlerini de içerecek şekilde genişletilebilmektedir. PESERA, hidrolojiyi çökelti taşınmasından açıkça ayırarak, karşılaştırılabilir basitliğe sahip önceki modellere, özellikle de USLE ve türevlerine göre temel bir ilerlemeyi temsil etmektedir. Çok basit ve sade bir erozyon modeli; iklim, bitki örtüsüne, topografyaya ve toprağa bağlı bileşenlerden oluşmaktadır. PESERA modeli, Avrupa genelinde ülke ve Pan-Avrupa ölçeğinde diğer erozyon risk değerlendirme yöntemleriyle karşılaştırılarak havza düzeyinde doğrulanmıştır. Ancak, modelin operasyonel hale gelebilmesi için daha fazla geliştirme, kalibrasyon ve doğrulama çalışması gerekmektedir. İlk sonuçlar, düşük çözünürlüklü ve kalitesiz veri girişlerinin hata ve belirsizliklere yol açtığını, ancak erozyon sorununu nicel olarak değerlendirmenin iklim ve arazi kullanımındaki gelecekteki değişikliklerin etkilerini senaryo analizleriyle değerlendirmeyi sağladığını göstermektedir. PESERA, toprak erozyonunu etkileyen faktörler arasındaki bağlantıları anlamaya yardımcı olurken, tarım politikaları ve iklim değişikliklerinin Avrupa genelindeki etkilerini değerlendirmek için de önemli bir araç olarak kullanılabilir (URL-2).

$$E = k \cdot q^2 \cdot \Delta$$

E: Yıllık toprak kaybı (ton/ha/yıl)

k: Toprak erozyon katsayısı (toprak türüne bağlı olarak değişmektedir)

q: Sayısal yükseklik modeline bağlı topoğrafya potansiyeli

Δ : Yüzeysel akış

Bu faktörler daha sonra mevcut veri kaynakları kullanılarak ayrı ayrı değerlendirilebilmekte ve bölgesel tahminler yapmak için kullanılmaktadır. Tortu taşınım hızı ton/ha cinsinden ortalama toprak kaybı olarak tahmin edilmektedir. Modelin koşturulması için aylık ve yıllık iklim ve arazi yapısından birçok veriye ihtiyaç duyulmaktadır (Kirkby, 2003). Her ne kadar bu ölçek büyütme önceki modellerde

tartışılmış ve kısmen uygulanmış olsa da (Kirkby vd., 1996; Kirkby, 1998), daha önce kapsamlı bir toprak erozyonu modelinde uygulanmamıştır (Kirkby vd., 2008).

SWAT: SWAT modeli; genellikle havza ölçeğinde uygulanan, yarı-dağıtılmış, zaman-sürekli bir hidrolojik modeldir. Yüzey ve yeraltı suyu kalitesinin ve miktarının simülasyonuna olanak tanımakta ve aynı zamanda topraklı büyük karmaşık havzalarda saha yönetimi uygulamalarının tortu, su ve tarım kimyasalları üzerindeki etkisinin tahmin edilmesine olanak tanımaktadır (Mahara vd., 2016). Ek olarak, bu model aynı zamanda (Mahara vd., 2016) temel alınarak simüle edilmiş günlük su dengesinin hesaplanmasına da imkan vermektedir.

$$SW_t = SW_0 + \sum t_i = 1(R - Q_{surf} - E_a - W_{chrg} - Q_{lat})$$

SW_t : Toprak su içeriği (mm)

SW₀ : Başlangıçtaki toprak su içeriği (mm)

T : Zaman (Gün)

R_{day} : Yağış miktarı (mm)

Q_{surf} : Yüzey akış miktarı (mm)

E_a : Buharlaşma-terleme miktarı (mm)

W_{seep} : Toprak profilinden zona giren su miktarı (mm)

Q_{lat} : Geri dönüş akış miktarı (mm)

SWAT modelinde meteorolojik rasatlar, topoğrafya, arazi kullanımı ve toprak türü verilerini kullanarak yüzeysel akış miktarı, yeraltına sızan su miktarı ve evapotranspirasyon ile kaybedilen su miktarını hesaplamakta, bu sayede su yönetimi için havzalarda ihtiyaç duyulan su bütçesi modellenmektedir (Cüceloğlu vd., 2017; Alevkaya & Abi, 2023).

WEPP: Su Erozyonu Tahmin Projesi (WEPP) modeli; hidroloji, bitki bilimi, hidrolik ve erozyon mekaniğinin temelleri üzerine inşa edilmiş, fiziksel temelli bir erozyon simülasyon modelidir (Lafen vd., 1991). Model, kurumlararası bilim adamlarından oluşan bir ekip tarafından Evrensel Toprak Kaybı Denklemi'nin (USLE) yerini almak üzere geliştirilmiş ve ABD'de ve dünyada yaygın olarak kullanılmıştır (Flanagan vd., 2007). WEPP bir çok girdi gerektirmektedir: iklim, topografya, toprak ve yönetim (bitki örtüsü) ve su dengesi (yüzey akışı, yüzey altı akışı ve buharlaşma-terleme), toprağın ayrılması ve eğim boyunca noktalarda birikmesi, tortu dağıtımı ve bitki örtüsü büyümesi dahil olmak üzere çeşitli çıktı türleri sağlamaktadır. WEPP modeli; 1995 yılında geliştirilmesinden bu

yana sürekli olarak iyileştirilmiştir ve çeşitli alanlara (örneğin, tarım arazisi, mera, ormancılık, balıkçılık ve yüzey kömür madenciliği) uygulanabilmektedir.

USLE: Toprak erozyonu ve sediment verimi modellerinin çoğunun geliştirilmesinde ilk girişim; ampirik Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (USLE) kullanılması olmuştur (Wischmeier & Smith, 1965, Wischmeier & Smith, 1978). USLE, yağış aşındırma faktörü, toprağın aşınabilirlik faktörü, yamaç uzunluğu, eğim faktörü, bitki yönetim faktörü ve koruma uygulamaları faktörü olmak üzere altı faktörden oluşan uzun vadeli ortalama yıllık toprak kaybını tahmin etmektedir.

RUSLE: USLE, neredeyse 30 yıl erozyon üzerine toprak koruma uygulamalarına konu olmasında sonra bazı değişikliklerle RUSLE'ye dönüşmüştür. ABD'de 1200'den fazla ölçüm noktası, bilgisayar yardımıyla algoritmik hesaplamalar, mevsimsel olarak değişen K iyileştirmesi, değişen yer şekillerine göre eğim ve diklik için LS algoritması yenilenmesi gibi birçok değişikliğe uğramıştır. Bu değişimde R faktörünün büyüklüğü ve mevsimle dağılımın ekim sistemiyle ilişkisi, R faktörü için 1000 den fazla noktadan gelen veriler analiz edilmiştir.

$$A = R * K * L * S * C * P$$

A: Yıllık ortalama toprak kaybı (ton/ha/yıl)

R: Yağış erozyon faktörü ($\text{MJ mm ha}^{-1}/\text{saat}^{-1}/\text{yıl}^{-1}$)

K: Toprak erozyon faktörü ($\text{ton ha}^{-1} \times \text{ha MJ}^{-1} \times \text{ha mm}^{-1}$)

LS: Yamaç uzunluk ve eğim faktörü

C: Zemin örtüsü faktörü

P: Erozyon önleyici diğer faktörler

R (Yağış erozyon faktörü): Yağış miktarı ve yoğunluğuna bağlı olarak belirli konumdaki yağışın aşındırıcılığını tanımlamakta ve yağış yoğunluğunun toprak kaybı üzerindeki etkisini yansıtmaktadır. Kısaca potansiyel erozyon riski olarak tanımlanmaktadır. Yağış erozyon faktörü (R), toprak kaybına bağlı olarak belirli bir konumdaki yağış yoğunluğunu tanımlamaktadır (Koirala vd., 2019; Thapavd., 2019). Yağmur damlası miktarının ve yağışla ilişkili yüzey akışı oranının etkisini ölçmekte ve birimi $\text{mm ha}^{-1}\text{mm}^{-1}\text{yıl}^{-1}$ cinsinden ifade edilmektedir.

$$R = E * I30 / 100$$

R=Yağışın erozyon oluşturma faktörü ($\text{MJ ha}^{-1} \text{yıl}^{-1} * \text{mm h}^{-1}$)

E=Erozyon oluşturan yağışların toplam kinetik enerjisi ($\text{MJ ha}^{-1} \text{yıl}^{-1}$)

I30= 30 dakikalık maksimum yağış şiddeti (mm h^{-1})

K (Toprak erozyon faktörü): Toprağın aşınımını ölçmektedir. Toprağın aşınabilirlik faktörü (K), belirli bir toprak tipinin doğal aşınabilirliğinin niceliksel bir açıklamasıdır. Toprak parçacıklarının yağış ve akıntı yoluyla ayrılma ve taşınmaya karşı duyarlılığının bir ölçüsüdür. K faktörünü etkileyen ana toprak özellikleri; toprak dokusu, organik madde, toprak yapısı ve toprak profilinin geçirgenliğidir. Belirli bir toprak için toprağın aşınabilirlik faktörü; %9 eğime sahip 22,13 m uzunluğundaki standart birim alandan birim erozyon indeksi başına erozyon oranıdır. (Ganasri vd., 2016). Yağış erozyonu (R) indeksi başına toprak kaybı oranını yansıtmaktadır.

LS (arazi eğim uzunluğu ve dikliği faktörü): Eğim erozyonu etkileyen önemli faktörlerden biridir. Arazi eğimi, eğim derecesi ve eğimin bulunduğu yüzeyin uzunluğu erozyon miktarını etkileyen belirgin bir faktördür. LS faktörü; eğim uzunluğunun (L) ve eğim dikliğinin (S) erozyon miktarı üzerindeki etkisini göstermektedir. RUSLE modelinde, L ve S faktörleri, farklı denklemlerle hesaplanmaktadır. L faktörü (eğim uzunluğu faktörü), 22,13 m uzunluğundaki standart bir alanın %9 eğimde ki toprak kaybının oranını temsil etmektedir (Özden, 1997). Topografik faktör veya eğim uzunluğu ve diklik faktörleri (LS), "Sayısal Yükseklik Modeli"nden (DEM) üretilmektedir. Eğim uzunluğu ve eğim, toprak erozyonu modellenmesinde (Morgan vd., 1984) yüzey akışının hesaplanmasında önemli parametredir.

C faktörü: Arazi örtüsü faktörü, bitki örtüsünün özelliklerine göre toprak kaybını etkileyen faktörlerden biridir. Bitki örtüsü varlığı; yağmurun toprak üzerindeki etkisini yavaşlattığı gibi, yüzeysel akışın aşındırıcı etkisini de azaltmaktadır. C bitki faktörü 0 ile 1 arasında bir değer almaktadır.

P Faktörü (Uygulama Faktörü): Erozyon kontrol önlemlerinin toprak kaybı üzerindeki etkisini temsil eden bir katsayıdır. Bu faktör, belirli bir arazi yönetim uygulamasının veya erozyon önleme stratejisinin toprak kaybını ne ölçüde azaltabileceğini değerlendirmek için kullanılmaktadır. P faktörü, arazi eğimine ve kullanılan erozyon kontrol yöntemlerine (örneğin, teraslama, şerit halinde ekim, kontur sürümü gibi) bağlı olarak değişmektedir. Bu faktör, genellikle 0 ile 1 arasında bir değer almakta; 1 değeri, hiçbir koruma önlemi olmadığını gösterirken, 0'a yaklaştıkça koruma önlemlerinin etkisiyle erozyonun azaltıldığını ifade etmektedir. P faktörünün değeri ne kadar düşükse, kullanılan koruma uygulamasının erozyon azaltma etkisi o kadar yüksektir.

Yukarıdaki yöntemler kullanılarak, ülkemizde gerçekleştirilen bazı çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Erol ve anga (2003) Mihalıık ilçesinde yer alan bir havzada yaptığı çalışmada, CBS yardımıyla erozyon tehlikesinin yaşandığı alanların belirlenmesini amaçlamıştır. Potansiyel ve gerçek erozyon tehlike haritaları üretilmiřtir. Potansiyel erozyon tehlikesi haritasına göre, çalışma alanının %44' ünün dūřuk, %52'sinin orta, %4'ünün ise yüksek erozyon tehlikesi gösterdiği tespit edilmiştir. Gerçek erozyon tehlikesi haritasına göre ise alanda, %31'i dūřuk, %20'si orta, %49' unun yüksek derecede erozyon olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, bitki örtüsünün ve arazi kullanımının gerçek erozyon tehlikesini etkin bir şekilde etkilediği grlmştir.

Karabulut ve Küçükönder (2008) Kahramanmarař'ta yaptıkları çalışmada, CBS ortamında Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (USLE) modelini kullanarak bölgedeki toprak kaybı açısından problemlili alanları belirlemektir. Kullanılan veriler arasında 1/25.000 ölçekli sayısal topoğrafik harita, toprak haritası, yağış verileri ve arazi kullanım haritaları yer almaktadır. RUSLE modeli, erozyon riski taşıyan alanların belirlenmesi amacıyla kullanılmış ve eėim, yağış, toprak özellikleri ile bitki örtüsü gibi faktörler dikkate alınarak yıllık ortalama toprak kaybı hesaplanmıştır. Sonuçlara göre, çalışma alanında toprak kaybı 0 ile 21 ton/ha/yıl arasında değişmekte olup, orta ve yüksek erozyon riski gösteren alanlar toplam arazinin %0,57'sini oluşturmaktadır. En yüksek erozyon riski tarım alanları, özellikle Karacaoėlan Mahallesi güneyinde yer alan tarım arazilerinde tespit edilmiştir. Eėimin az olduğu alanlarda ise (%99) ok dūřuk erozyon riski gözlenmiştir. Sonuç olarak CBS ve USLE modeli, erozyon risk alanlarını belirlemede etkili bir yöntem olarak kullanılmış ve bu sayede erozyon risk haritaları üretilmiştir.

Karaburun vd. (2010), İstanbul Bykkmece havzasında yaptığı çalışmada, CBS tabanlı RUSLE yöntemiyle uzun dönemde toprak kaybı hesaplanmış ve hektarda yıllık ortalama 2.4 ton toprak kaybının olduğunu belirlemiştir.

Aydın (2009), Gümüşhane-Torul Barajı yağış havzasında yaptığı çalışmada arazi kullanımına göre toprak kayıplarının belirlenmeye çalışmıştır. Çalışmada WEPP (Water Erosion Prediction Project) modeli kullanılarak, havzadaki orman, mera ve tarım alanlarından oluşan farklı arazi kullanım şekillerine göre toprak kayıpları belirlenmiştir. Bu kapsamda 56 adet toprak rneği alınmıştır. WEPP modeli, yüzeysel akış, toprak kaybı ve sediment taşınımını belirleyerek, toprak kaybının önlenmesi için alınması gereken tedbirlerin planlanmasında kullanılmıştır. Havzanın %69,70'ini oluşturan ormanlık alanlarda yıllık 10.494,04 ton, %20,17'sini oluşturan mera alanlarında 12.630,18 ton ve %10,77'sini oluşturan tarım alanlarında 10.108,18 ton toprak kaybı meydana gelmiştir.

Yıllık ortalama toprak kaybı ormanlık alanlarda hektar başına 1,86 ton, mera alanlarında 7,66 ton, tarım alanlarında ise 11,48 ton olarak belirlenmiştir. Toplamda havzada yıllık 33.232,40 ton toprak kaybı yaşanmaktadır.

Değerliyurt (2013), Antakya ilinde Asi Nehri'ne dökülen Kavaslı, Altınçay, Hanna ve Hacı Kürüş derelerinin havzalarında yaptığı çalışmada sediment miktarını hesaplamıştır. RUSLE yöntemine göre yaptığı çalışmada, toprak kaybını 0-26,02 ton/ha/yıl olarak (çok şiddetli erozyon) belirlemiştir.

Değerliyurt (2014) Hatay ili, Amanos Dağlarında orman yangını sonrasında yaptığı çalışmada, RUSLE yöntemini kullanmıştır. Yangından önceki süreç içinde, taşınan toprak miktarı 0-32,57 ton/ha/yıl olarak belirlenirken, yangından sonra 0-144,70 ton/ha/yıl olarak belirlenmiştir. Yangından sonra taşınan toprak miktarının 4,44 kat artışı tespit edilmiştir. Orman örtüsünden yoksun alanlarda erozyonun arttığı ve yüksek duyarlılığa neden olduğu ortaya konmuştur.

Özşahin (2014), Tekirdağ ilinde yaptığı çalışmada RUSLE yöntemi kullanarak, %61,9 çok hafif erozyon riskinin etkili olduğunu tespit etmiştir. İlde yaşanan toprak kaybının 5,26 t/ha/yıl olarak belirlemiş ve bu değer ülkemiz ortalamasının (6,14 t/ha/yıl) altında olduğu ortaya konmuştur.

Tüfekçioğlu ve Yavuz (2016) yılında Artvin ili Yusufeli ilçesinde yaptığı çalışmada RUSLE modeli kullanılarak ortalama yüzey erozyonu 3,6 ton/ha/yıl olarak bulunmuştur.

1.8. Toprak Kaybının Uzaktan Algılama Teknikleri Yardımıyla Belirlenmesi

Uzaktan algılama sistemleri günümüzde birçok alanda etkin şekilde kullanılmaktadır. Özellikle erozyon risk değerlendirmeleri gibi hızlı, ekonomik ve güncel veriye ihtiyaç duyulan alanlarda, uzaktan algılama yöntemleri tercih edilmektedir. Uzaktan algılama çalışmalarında en yaygın veri kaynağı uydu görüntüleridir. Uydu görüntüleri; tarım, ormancılık, su kaynakları ve madencilik gibi sektörlerde kaynak yönetimine önemli katkılar sağlamaktadır. Uydu görüntüleme teknolojisi, dünya yüzeyinin uzaktan algılanması ve izlenmesinde kritik rol oynamaktadır. Bahsedilen teknoloji, farklı spektral bantlardaki elektromanyetik radyasyonun ölçülmesi yoluyla yeryüzünün detaylı haritalarını oluşturmak için kullanılmaktadır. Uydularla görüntüleme; uzaydan dünya yüzeyine yönlendirilen sensörler aracılığıyla elde edilen verilerin işlenmesini içermektedir. Bu sensörler, elektromanyetik radyasyonu farklı dalga boylarında algılayabilmektedir.

Örneğin, optik uydu görüntülerinde güneş ışığının yansıması ölçülerek görsel ve spektral bilgi elde edilmektedir. Radar uydu görüntülerinde ise yansıyan sinyallerin zaman ve mekansal analiziyle yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilmektedir. Bu teknolojiler, yüzeydeki değişiklikleri izlemek ve doğal kaynakların yönetimine katkıda bulunmak için kullanılmaktadır.

Tağıl (2007), Tuzla çayı havzasında (Biga Yarımadası) CBS-Tabanlı RUSLE modeli kullanarak arazi degradasyonu risk değerlendirmesi adlı çalışmada Landsat uydu görüntüleri kullanarak erozyon miktarını tahmin etmiştir.

Özcan (2016), Çankırı-Ekinne Göleti su toplama havzasında toprak kayıplarını tahmin etmek ve erozyon riskini belirlemek amacıyla RUSLE modeli ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tekniklerini kullanarak sediment miktarını değerlendirmiştir. Çalışmada, uzun yıllar yağış şiddeti ve toplam enerjisi, toprak haritaları, dijital yükseklik haritaları (SYM), meşçere haritaları ve arazi kullanım bilgileri gibi veriler kullanılmış ve bu veriler CBS ile uzaktan algılama teknikleri yardımıyla analiz edilmiştir. Sediment İletim Oranı (SİO) kullanılarak, gölete ulaşabilecek toplam sediment miktarı tahmin edilmiştir. Sonuçlara göre, Ekinne Göleti'ne ulaşması beklenen toplam sediment miktarı ortalama 15,6 ton/ha/yıl olup, yıllık toplamda 18.362,2 ton olarak hesaplanmıştır. Orman ve mera alanlarında ortalama toprak kayıpları sırasıyla 11,79 ton/ha/yıl ve 18,6 ton/ha/yıl olarak tespit edilmiştir. Göletin 50 yıllık kullanım ömrü ve 1.763.000 m³ rezervuar kapasitesi dikkate alındığında, bu sürenin sonunda rezervuarın yaklaşık %50'sinin sedimentle dolacağı öngörülmüştür. Sonuçlar; havzanın farklı bölgelerinde erozyon şiddetini ve sediment taşınımını ortaya koymuş, özellikle yüksek eğimli ve bitki örtüsünden yoksun alanların erozyona daha fazla maruz kaldığı belirlenmiştir.

Akay vd. (2009), Kahramanmaraş'ın Pazarcık bölgesinde gerçekleştirdikleri çalışmada, yarı kurak özellik gösteren çıplak toprak alanların uydu görüntüleri ve Sayısal Arazi Modeli (SAM) kullanılarak erozyon riski düzeylerine göre sınıflandırılmasını amaçlamışlardır. Araştırmada, ASTER uydu görüntüleri (15m x 15m çözünürlük, Ağustos 2005) ve çalışma alanının Sayısal Arazi Modeli (SAM) kullanılmış; ayrıca, eğim sınıfları haritası ve arazi kullanım haritalarından yararlanılmıştır. Uydu görüntüleri, ERDAS Imagine 9.0 yazılımı kullanılarak kontrollü sınıflandırma yöntemiyle analiz edilmiş ve çıplak toprak alanlar belirlenmiştir. Arazi eğimine göre çıplak toprak alanları %0-10 (çok düşük), %10-25 (düşük), %25-50 (orta), %50-100 (yüksek) ve %100'den fazla (çok yüksek) erozyon riski sınıflarına ayrılmıştır. Çalışma; erozyon riskini belirlemek için

çıplak toprakların eğim sınıfları ve mekânsal dağılımlarını dikkate alarak bu alanların sınıflandırılmasını yapmıştır. Elde edilen sonuçlar, çıplak toprak alanlarının eğim sınıflarına bağlı olarak değişen erozyon risk düzeylerine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Pazarcık bölgesindeki çıplak toprak alanların %40,6'sı çok düşük, %38,2'si düşük, %16,0'sı orta, %4,9'u yüksek ve %0,3'ü çok yüksek erozyon riski altındadır. Bu veriler, çıplak toprakların eğim ve bitki örtüsü koşullarına bağlı olarak farklı erozyon riskleri taşıdığını göstermektedir.

Vatandaşlar (2015), Tortum ilçesi sınırları içerisinde bulunan Tortum-Kuzey Mikro Havzası'nda gerçekleştirdiği çalışmada, bitki örtüsü ve bitki faktörünün (C-faktör) hassasiyetini ve uygunluğunu belirlemek amacıyla farklı regresyon modelleri kullanarak erozyon riskini değerlendirmiştir. Çalışmada, LANDSAT TM görüntüleri üzerinden Yaprak alan indisi (LAI), kapalılık yüzdesi ve USLE C-faktör gibi vejetasyon özellikleri oluşturulmuştur. NDVI değerleri ile C-faktör arasındaki ilişki modellenmiş ve böylece bilinmeyen piksel değerleri üzerinden C-faktör katsayısı hesaplanmıştır. Erozyon yönetimi için RUSLE modeli kullanılarak erozyon risk haritaları üretilmiş ve arazinin bitki örtüsü ile eğim koşulları dikkate alınarak erozyonun minimize edilmesi için çevresel önlemler önerilmiştir. Tüm arazi kullanım ve bitki örtüsü tiplerini en iyi temsil eden C-faktörü haritası, "lineer regresyon model" ile üretilmiş ve modelin doğruluğu $R^2=0,798$ olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan tüm modellerin ürettiği haritalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar gözlenmiş, bu farkların yüksek eğimli ve heterojen karakterli arazi yapısı ile farklı yükseklik kademelerinde bulunan vejetasyon tiplerinin değişken gelişim özelliklerinden kaynaklandığı belirtilmiştir.

Yavuz vd. (2019), Erzurum ili Uzundere alt havzasında yüzey toprak erozyonu riskini belirlemek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu amaç doğrultusunda, RUSLE modeli Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama teknikleriyle entegre edilerek, alt havzadaki yıllık toprak kaybı miktarını tahmin etmek için kullanılmıştır. Çalışmada, yağış erozyonluğu (R faktörü) meteorolojik verilerden, eğim uzunluğu ve dikliği (LS faktörü) ise 5 m çözünürlüklü Dijital Yükseklik Modeli (DEM) kullanılarak elde edilmiştir. Arazi örtüsü ve bitki yönetimi (C faktörü) için NDVI değerleri, toprak erodibilitesi (K faktörü) için ise 35 örnekleme noktasından toplanan toprak örnekleri kullanılmıştır. RUSLE'nin alt faktörleri, ArcGIS ve ERDAS Imagine yazılımları kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda, Uzundere alt havzasında yıllık ortalama hektar başına 25,38 ton toprak kaybı olduğu belirlenmiştir. Toplam çalışma alanının %44,5'inin

çok düşük ($0-5 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$), %10,3'ünün düşük ($5-10 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$), %13,6'sının orta ($10-20 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$), %17,2'sinin yüksek ($20-50 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) ve %14,5'inin çok yüksek ($>50 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) erozyon risk kategorisinde olduğu tespit edilmiştir. Bu yüksek erozyon riskinin, düşük yıllık yağış miktarına rağmen dik topografya, uzun eğimler ve yetersiz bitki örtüsü gibi faktörlerden kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır.

1.9. Sentinel-2 Uydu Görüntüleri ve Özellikleri

Sentinel uydu serisi; Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından geliştirilen ve işletilen bir dizi uydudur. Sentinel serisi, Dünya'yı çeşitli spektral bantlarda ve farklı çözünürlüklerde izlemek için tasarlanmıştır. Bu uydular; toprak kullanımı, bitki örtüsü, su kalitesi ve doğal afet izleme gibi birçok uygulamada önemli rol oynamaktadır. Sentinel uydu serisi, küresel ölçekte çeşitli hava durumu ve çevresel değişikliklerin izlenmesine ve analizine yardımcı olan verileri sağlamaktadır. Bu nedenle, araştırma, çevre koruma, tarım ve afet yönetimi gibi alanlarda önemli bir rol oynamaktadır.

Sentinel uydu serisinin bir parçası olan Sentinel-2 uyduları, özellikle yüksek çözünürlüklü optik görüntüler sağlamaktadır. Bu uydular, farklı spektral bantlarda (kırmızı, yeşil, mavi, yakın kızılötesi vb.) yüksek çözünürlüklü görüntüler toplamaktadır. Sentinel-2 “Çoklu Spektral Görüntüleme Sensörü” (MSI) kamerası taşımaktadır. Farklı çözünürlüklerde; 10 m, 20 m ve 60 m görüntüler sunmaktadır. Sentinel-2A ve Sentinel-2B isimli ikiz uydular, Dünya'nın yüzeyini kaplayan geniş alanda çeşitli uygulamalara olanak tanımaktadır. Gündüzleri çalışmakta ve Dünya'nın yüzeyini yaklaşık 5 günlük bir tekrarlama periyoduyla taramakta, bu özelliği sayesinde zaman içindeki değişiklikleri izlemek için kullanılabilir. Çeşitli spektral bantların ve çözünürlüklerin kombinasyonu, farklı uygulamalar için çok yönlü veri sağlamakta, toplam 13 optik bant içermektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Sentinel 2 uydu görüntüsünün özellikleri (URL-1, 2024)

Band	Çözünürlük	Dalga Boyu	Özellik
B1	60 m	443 nm	Ultra Mavi (Kıyı ve Aerosol)
B2	10 m	490 nm	Mavi
B3	10 m	560 nm	Yeşil
B4	10 m	665 nm	Kırmızı
B5	20 m	705 nm	Görünür ve Yakın Kızılötesi (VNIR)
B6	20 m	740 nm	Görünür ve Yakın Kızılötesi (VNIR)
B7	20 m	783 nm	Görünür ve Yakın Kızılötesi (VNIR)
B8	10 m	842 nm	Görünür ve Yakın Kızılötesi (VNIR)
B8a	20 m	865 nm	Görünür ve Yakın Kızılötesi (VNIR)
B9	60 m	940 nm	Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR)
B10	60 m	1375 nm	Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR))
B11	20 m	1610 nm	Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR)
B12	20 m	2190 nm	Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR)

L1C ve L2A veri seviyeleri, Sentinel-2 görüntülerinde kullanılan veri işleme seviyelerini ifade etmektedir. L1C görüntüler; düzeltilmemiş ve radyometrik olarak kalibre edilmemiş ham verileri temsil etmektedir. Bu görüntüler, uydu tarafından toplanan doğrudan verileri ifade etmektedir. L1C verileri; radyometrik ve geometrik düzeltmeler yapılmış olsa da, atmosferik etkileri hesaba katmazlar. Bu nedenle, örneğin sis, bulut gölgeleri veya atmosferik saçılma gibi atmosferik hatalar içerebilirler. Öte yandan, L2A görüntüleri; atmosferik etkileri gidermek için ilave görüntü işleme adımlarına sahiptir. Bu adımlar genellikle; aerosoller, su buharı ve gazlar gibi atmosferik faktörlerin etkisini azaltmak veya ortadan kaldırmak için atmosferik düzeltme algoritmalarını içermektedir. Özetle; L2A verileri, daha işlenmiş ve analiz için daha uygun hale getirilmiş verilerdir ve genellikle daha net ve doğru yüzey özellikleri sağlamaktadırlar. Sentinel-2 uydusuyla ilgili olarak, hangi yıllarda hangi veri seviyelerinin sunulduğu, uydunun hizmete başlama tarihinden itibaren değişebilmektedir. Genellikle, Sentinel-2 uydusu 2015 yılından itibaren düzenli olarak veri toplamaya başlamıştır ve bu nedenle Sentinel-2 veri seti, 2015 yılından günümüze kadar olan dönemi kapsamaktadır.

Son yıllarda erozyon miktarının hesaplanmasında uydu görüntülerinin kullanımı yaygınlaşmış olup, bu süreçte özellikle bitki örtüsü yoğunluğunu ve sağlığını yansıtan

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) değerleri önemli bir rol oynamaktadır. Bu sayede, arazi bozulumunun tespiti ve yönetimi daha bilimsel ve hassas bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

1.10. NDVI

Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü Farkı İndeksi (NDVI); bitki örtüsünün sağlığını ve yoğunluğunu ölçmek için yaygın olarak kullanılan bir ölçümdür. Kırmızı ve yakın kızılötesi bant verileri kullanılarak hesaplanmakta ve genellikle uzaktan algılama araçlarıyla, örneğin uydularla elde edilmektedir. NDVI'nin yorumlanması kolaydır çünkü doğrusallığa yakındır ve -1 ile +1 arasında değer almaktadır. NDVI'nin değeri, bitki örtüsünün miktarı ve sağlığıyla doğrudan ilişkilidir. Hiçbir bitkinin yetişmediği bir bölgede NDVI sıfırdır. Tamamen yoğun ve sağlıklı bitki örtüsüyle kaplı bir alanın NDVI değeri maksimum değer olan 1'e ulaşırken, 0'dan küçük NDVI değerleri kuru arazi veya su kütlelerini temsil etmekte ve -1 değeri; su kütlesinin belirtmektedir. NDVI, popülerdir çünkü doğruluğu yüksektir ve yeryüzündeki bitki örtüsünün gerçek durumuyla yüksek korelasyona sahiptir. Bu metrik, bitki örtüsünün büyümesiyle orantılı olarak artan bir ölçüt sağlamak ve yorumlaması kolay olmaktadır (Tucker, 1979).

NDVI hesaplaması, genellikle şu formül ile hesaplanmaktadır:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Bu formülde, NIR (yakın kızılötesi) bandı bitki örtüsünün yansıttığı ışığı, Red (kırmızı) bandı ise bitki tarafından emilen ışığı ifade etmektedir. NDVI; tarımsal verimliliğin izlenmesi, arazi kullanımı değişikliklerinin belirlenmesi, kuraklık ve erozyon gibi çevresel süreçlerin değerlendirilmesinde kritik bir gösterge olarak kullanılmaktadır. Uygulama bağlamında, uydu görüntülerinde kırmızı (Red) ve yakın kızılötesi (NIR) bantların kullanılmasıyla hesaplanan NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) değerleri, bitki örtüsünün yoğunluğu ve sağlığı ile ilişkilendirilmekte ve bu sayede ekosistemlerin durumu ile ilgili önemli bilgiler elde edilmektedir.

C değerinin hesaplanmasında NDVI değerlerinin kullanıldığı bazı çalışmalar aşağıdaki tabloda sunulmaktadır.

Tablo 3. C faktörü için kullanan denklemler

$C = 1,02 - 1,21 \cdot NDVI$	Karaburun (2010), İstanbul
$C = \exp(-a (NDVI / b - NDVI))$ a=2, b=1	Van der Knijff vd. (2000), Avrupa
$C = 0,431 - 0,805 \cdot NDVI$	De Jong (1994), De Jong vd. (1998), Çin
$C = -0,046327 + (0,028483/NDVI \cdot NDVI)$	Vatandaşlar (2020), Artvin

Karaburun (2010), yaptığı çalışmada, toprak erozyonunu modellemek için kullanılan Universal Soil Loss Equation (USLE) ve Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) gibi modellerde önemli rol oynayan C faktörünü belirlemek için NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) değerlerini kullanan bir yöntemi kullanmıştır. Büyükçekmece Havzası'nda gerçekleştirilen çalışma, NDVI ile C faktörü arasındaki ilişkiyi inceleyerek toprak erozyonu modellemesi için C faktörü haritası oluşturmuştur. Regresyon analizi sonuçları, geniş alanlardaki C faktörü değerlerinin %0.2 ile %0.4 arasında değiştiğini göstermiştir. Bu yöntem, büyük alanlardaki C faktörü değerlerini hızlı ve etkili bir şekilde tahmin etmek için uygun bir yaklaşım sunmaktadır. Bu araştırma, NDVI değerlerini kullanarak C faktörünü belirleyen bir yöntemi incelemektedir. C faktörü, NDVI değerine göre; $1,02 - 1,21 \cdot NDVI$ şeklindeki denklemle hesaplanmıştır. Bu yöntem, toprak erozyonu modellemesi için etkili bir araç olabilir, çünkü NDVI değerleri ile C faktörü arasında güçlü bir ilişki bulunmuştur (Tablo 3).

De Jong (1994), Landsat Thematic Mapper (TM) görüntülerini kullanarak bitki örtüsü özelliklerinin, özellikle Yaprak Alan İndeksi (LAI), örtü yüzdesi ve USLE-C faktörünün elde edilmesi üzerine kapsamlı bir araştırma yapmıştır. Fransa'da seçilen 33 örnek alandaki örtü yüzdesi, LAI ve C faktörü değerleri, Landsat TM görüntülerinden elde edilen NDVI değerleri ile karşılaştırılmış ve bu verileri NDVI'dan tahmin eden regresyon modelleri geliştirilmiştir. Yapılan analizde, NDVI ile USLE-C faktörü arasında -0.64'lük bir korelasyon tespit edilmiş, ancak De Jong (1994) bu düşük korelasyonu, NDVI'nın bitki örtüsünün canlılığına olan hassasiyetine bağlamıştır. Özellikle su stresine maruz kalan bir örtü, yoğun olsa bile NDVI değerinin düşük olması, bu ilişkiyi zayıflatmaktadır. De Jong (1994)'a göre, bu durum, erozyon çalışmalarında NDVI'nın kullanımını sınırlandırmaktadır, çünkü erozyon açısından bitki örtüsünün durumu değil, toprağı koruma kapasitesi daha önemlidir. Buna ek olarak, De Jong (1994), Landsat uydu verilerini kullanarak normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) ile sahada kalibre edilen C faktörü arasında doğrusal bir ilişki geliştirmiştir. Bu model ile sürekli bir C

faktörü yüzeyi oluşturulmuş ve formül şu şekilde ifade edilmiştir: $C = 0,431 - 0,805 * NDVI$. Bu ilişki, uzaktan algılama tekniği kullanılarak büyük coğrafi alanlarda toprak erozyonu riskinin değerlendirilmesine olanak tanımaktadır (Tablo 3).

Van der Knijff vd. (1999), İtalya genelinde yaptıkları çalışmada, ülkenin farklı bölgelerindeki toprak erozyon riskini değerlendirmişlerdir. Araştırma kapsamında meteorolojik veriler, toprak özellikleri, uydu görüntüleri ve dijital yükseklik modelleri gibi çeşitli veri kaynakları kullanılmışlardır. Çalışmada, “Universal Soil Loss Equation” (USLE) modeli temel alınarak erozyon riski değerlendirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan USLE-C faktörü, bitki örtüsü yönetim faktörüdür ve bitki örtüsünün toprak üzerindeki koruyucu etkisini ifade etmektedir. Bu faktör, Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) kullanılarak tahmin edilmiştir. Çalışmada, NDVI değerleri ve USLE-C faktörü arasında aşağıdaki denklem kullanılarak ilişki kurulmuştur:

$$C = \alpha \cdot \exp(-\beta \cdot NDVI)$$

Bu denklemde:

C : USLE-C faktörü, yani bitki örtüsü yönetim faktörü

NDVI : Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi değeri

α ve β : Denklemin ölçeğini ve şeklini belirleyen parametrelerdir.

Denklem, NDVI değeri ile USLE-C faktörü arasında negatif bir ilişki tanımlamaktadır. NDVI değeri yükseldikçe (bitki örtüsünün yoğunluğu arttıkça) C faktörü azalmaktadır. Bu da bitki örtüsünün toprağı erozyona karşı daha iyi koruduğunu ifade etmektedir. Bu yöntemin amacı, uzaktan algılama verilerini kullanarak bitki örtüsünün koruma etkisini tahmin etmek ve erozyon risk değerlendirmelerinde bu verileri kullanmaktır. Çalışmanın sonucunda, İtalya'nın bazı bölgelerinde yüksek erozyon riskinin olduğu, özellikle Akdeniz iklimine sahip alanlarda toprak kaybının ciddi boyutlara ulaşabileceği belirtilmiştir. Modelin sonuçları, erozyon kontrol stratejilerinin geliştirilmesi ve mevcut yönetim uygulamalarının gözden geçirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Elde edilen haritalar, erozyon riski yüksek bölgelerin belirlenmesine ve bu alanlarda koruma önlemlerinin önceliklendirilmesine yardımcı olmaktadır (Tablo 3).

Vatandaşlar (2020) yılında yaptığı çalışmada nemli bir iklimle sahip zengin orman yapısıyla dikkat çeken Artvin ili Şavşat ilçesinde Veliköy ve yarı kurak iklim koşullarına sahip, nispeten daha zayıf orman kaynaklarına sahip Erzurum ilindeki Olur Planlama Ünitelerini çalışma alanı olarak seçmiştir. Meşcere özellikleri ile erozyon arasındaki ilişkiyi incelemek için logaritmik regresyon modeli kullanılmıştır. Erozyon önleme

fonksiyonunun bir göstergesi olan C-faktörü ile NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi) arasındaki ilişkiyi açıklayan denklemler geliştirilmiştir. Bu denklemler, bitki yoğunluğu arttıkça C-faktörünün azaldığını, yani bitki örtüsünün toprağı erozyona karşı daha iyi koruduğunu göstermektedir. Olur Planlama Ünitesi için geliştirilen özgün denklem, NDVI ve C-faktörü arasındaki bu negatif ilişkiyi açıklamaktadır. Çalışmada kullanılan C faktörü denklemi, bitki örtüsünün toprak üzerindeki koruyucu etkisini ölçmek için geliştirilmiştir. Vatandaşlar (2020), erozyon ve meşcere ilişkisini incelemek amacıyla C faktörü ile NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi) arasındaki ilişkiyi belirten özgün bir denklem kullanılmıştır (Tablo 3). Bu denklem ise şu şekildedir:

$$C = -0,046327 + (0,028483/NDVI*NDVI)$$

1.11. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Her ne kadar erozyon dünyanın öncelikli konuları arasında yer alsada, meşcere bileşenleri ile toprak kaybı arasındaki ilişkilerin tespiti, araştırmalarda gereken önceliğe sahip olamamıştır. Dünyada ormanlar gün geçtikçe daha fazla özel mülkiyete konu olmakta, bunun yanında, gelişmemiş ve gelişmekte olan ülke ormanlarına olan baskı da artmaktadır. Bu iki etmen, ormanların meydana getirdikleri koruma hizmetlerinden ziyade, ekonomik yararları üzerine yoğunlaşmaya neden olmaktadır. Ülkemizin genel itibari ile üçte birinden daha fazlası, kurak ve yarı kurak alanlardan oluştuğı dikkate alındığında, toprak koruma ormanlarının planlanmasının önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır. Hem dünyada, hem de ülkemizde ormanların yerine getirdiğı üretim dışındaki hizmetlerin optimal kuruluşu ya da bu ormanların aktüel meşcere kuruluşları üzerine araştırmaların azlığı, ülkemizde toprak işletme sınıfının önemi ve bu amaçla geniş alanların bu amaçla ayrılması düşünüldüğünde; “Toprak koruma işletme sınıflarına ayrılan meşcereler yardımıyla, bu meşcerelere ilişkin hedef meşcere kuruluşları/yapıları ortaya konabilir mi?” hazırlanan tez kapsamında temel araştırma sorusu olarak belirlenmiştir.

Çalışma ile ülkemizde ilk defa toprak koruma işletme sınıflarında meşcere bileşenleri ortaya konarak önemli bir eksiklik giderilmiş olacaktır. Yapılan çalışma, toprak koruma işletme sınıflarında dışındaki diğer koruma ve hizmet amaçlı işletme sınıflarının meşcere kuruluşlarının ortaya konmasına yönelik yapılacak çalışmalara rehberlik edecek niteliktedir.

Bu bağlamda, hazırlanan tezin amacı; toprak koruma işletme amacı ile işletilen ormanlarda meşcere bileşenlerinin ortaya konmasıdır. Bununla beraber, meşcere parametreleriyle erozyon miktarı arasındaki ilişkilerin belirlenmesi ve toprak koruma işletme sınıflarında optimal kuruluşun verim gücüne, yaşa, eğime vb. parametrelere göre sayısal ve grafik olarak ortaya konulmasıdır. Böylece planlayıcılar, orman amenajman planlarının düzenlenmesi aşamasında, ayrılacak toprak koruma işletme sınıflarına ilişkin hedef sayısal değerleri pratikte kullanma olanağına sahip olacaklardır. Bu kapsamda belirlenen hedefler;

- ❖ Toprak koruma fonksiyonlu ormanlarda işletme amaçlarına uygun idare sürelerini boniteti dikkate alarak belirlemek ve planlamada uygulanabilirliğini tartışmak,
- ❖ Toprak koruma işletme sınıfındaki meşcerelerde toprak erozyonunu minimum seviyeye indirecek orman kuruluşunu bonitet sınıflarına göre hacim ve diğer meşcere bileşenleri itibari ile ortaya koymak,
- ❖ Toprak kaybı miktarı ve meşcere bileşenleri arasındaki ilişkileri belirlemek,
- ❖ Orman amenajman planlarını hazırlayan orman amenajman heyetlerine kılavuz oluşturacak bilgilere ulaşmak ve yönetmeliğine entegre edilebilecek bilgiler üretmek,

Hazırlanan tez kapsamında belirlenen araştırma hipotezi; uydu görüntüleri ve önceden alınan örnek alanlar yardımıyla, toprak kaybı değerlerinin ortaya konabileceği ve meşcere bileşenleri itibari ile referans verilerin üretilebileceği şeklindedir.

Tez kapsamındaki varsayımlar ise aşağıdaki biçimde belirlenmiştir;

- ❖ Yönetmelik esaslarına göre ayrılan toprak koruma işletme sınıfındaki meşcerelerin tamamı, bu işletme sınıfını temsil etmektedir.
- ❖ a3, b3, c3, d3 gelişme çağı ve kapalılığa sahip meşcereler erozyonu önleme fonksiyonunu en uygun şekilde yerine getirmektedir
- ❖ Orman amenajman planlarının hazırlanmasına dayanak oluşturan APP programındaki veriler, kullanıcılar tarafından doğru girilmiştir

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışma Alanı

Toprak koruma işletme sınıfı için meşcere bileşenlerine bağlı toprak kaybı değerlerinin ortaya konabilmesi için ülkemizde en fazla alan ve üretim miktarına sahip ve bulunduğu coğrafya itibariyle kurak Akdeniz Bölgesi'nde yayılış gösteren Kızılçam türü tercih edilmiştir. Kızılçam ülkemizin en önemli ağaç türlerinden biridir.

Ülkemiz orman varlığı, 2023 yılı itibariyle oldukça önemli bir yere sahiptir. Toplam alanın %29,95'i, yani 23,4 milyon hektarı ormanlarla kaplanmıştır. Ülkemizde resmi istatistiklere göre en fazla yayılışa 6,9 milyon ha ile Meşe'ler sahiptir. İkinci sırada ise %5,3 mil. ha ile Kızılçam gelmektedir. Kızılçam; 3.578.096 hektarı verimli ve 1.750.705 hektarı boşluklu kapalı olmak üzere toplam 5,3 milyon ha yayılışa sahiptir ve endüstriyel odun üretiminin % 28'sini (6.286.758 m³), yakacak odun üretiminin ise %15'ini (809.319 ster) karşılamaktadır (OGM, 2023). Bu değerler, Kızılçamın ekonomik açıdan büyük değere sahip olduğunu göstermektedir. Kızılçam odunu çok çeşitli kullanım alanına sahip olup, özellikle inşaat, mobilya ve kağıt endüstrisinde kullanılmaktadır. Ayrıca, Kızılçamın sadece odun değil, aynı zamanda oksijen deposu olarak da görülmesi önemlidir. Ormanların ekosistem hizmetleri açısından sağladığı oksijen üretimi ve karbon depolama gibi fonksiyonlar, Kızılçamın ekolojik önemini ortaya koymaktadır.

Kızılçam (*Pinus brutia*), farklı toprak türlerinde ve çeşitli ana kaya üzerinde yetişebilen oldukça uyumlu bir ağaç türüdür. Bu dayanıklılığı, özellikle kırmızı Akdeniz toprakları (Terra rossa), kestane rengi topraklar, alüvyal ve kolüvyal topraklar gibi geniş bir yelpazede yayılım göstermesini sağlar. Kalker, konglomera, fillit ve kalkerli kumtaşları gibi ana kayalar, kızılçamın köklerinin derinlere nüfuz etmesine ve besin maddelerine ulaşmasına elverişli ortamlar sunar. Kalker yapısındaki çatlaklar ve bu çatlakları dolduran ince toprak, bitki beslenmesini artırarak gelişimi destekler. Ancak, kompakt traverten ya da serpantin gibi su geçirmez yapıya sahip ana kayalar, kızılçam gelişimini sınırlar. Özellikle su tutma kapasitesi düşük, volkanik kayalardan oluşan sık topraklar, kızılçamın büyümesini yavaşlatabilir. Toprağın pH değerinin 6.0-7.5 aralığında olması, kızılçamın optimum büyüme koşullarını sağlar. Bu özellikler göz önünde bulundurularak, kızılçam

ormanlarında toprak erozyonu riskine karşı dikkatli olunmalı ve toprak yapısına uygun koruma önlemleri geliştirilmelidir (Zech vd., 1972).

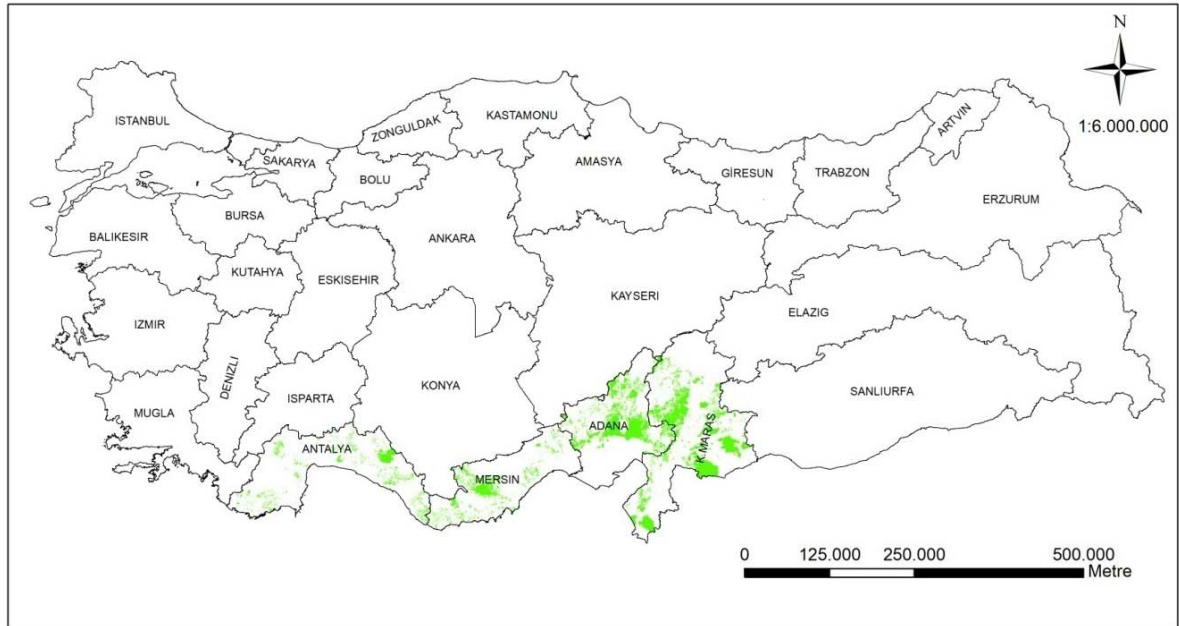
Kızılçam, toprak konusunda oldukça esnek olup farklı toprak türlerinde yetişebilmektedir. Kayalık alanlarda bile, köklerin madeni toprağa ulaşmasını sağlayan bir yarık, kızılçamın büyümesi için yeterlidir. Gelişiminde toprak yapısından çok, toprağın gevşek ya da çatlaklı olması daha büyük bir rol oynamaktadır Antalya Bölgesi'nde yapılan çalışmalar, kızılçamın dokuz büyük toprak grubunda yayılış gösterdiğini ortaya koymaktadır Bu toprak grupları kırmızı Akdeniz toprakları (Terra rossa), kırmızı kahverengi topraklar, kestane rengi topraklar, esmer orman toprakları, kalkersiz orman toprağı, rendzina toprakları, regosol toprakları, alüviyal topraklar ve kolüviyal topraklar olarak sıralanmaktadır (Özdemir, 1977; Quezel, 1977). Kalkerli anakayalar geniş çatlaklara sahip olduğunda ve bu çatlaklar balçıkla dolduğunda kızılçam için elverişli bir beslenme ortamı oluşmaktadır. Kızılçam, kalker, konglomera ve fillitler üzerinde en iyi gelişimini göstermektedir (Çepel, 1971; Quezel, 1977). Kalkerli kumtaşları genellikle fiziksel ve kimyasal olarak iyi nitelikte derin topraklar oluşturur. Bu tür topraklar su tutma kapasitesi açısından yüksek olup, kızılçamın gelişimi için ideal bir ortam sağlamaktadır. Volkanik kayaların oluşturduğu topraklar genellikle iskelet yoğunlukludur ve sıgıdır. Bu toprakların su tutma kapasitesi düşük olmakla birlikte, ince materyal oranı arttıkça verimlilik de artmaktadır (Çepel, 1971). Traverten anakaya üzerinde oluşan topraklar balçıktan ağır balçığa kadar farklılık göstermekte olup, kalsiyum karbonat oranı yüksek olan bu topraklar kızılçam gelişimi için bazı bölgelerde sınırlayıcı bir etkiye sahiptir. Kızılçam, alt yamaçlar ve düzlük alanlarda, organik madde bakımından zengin, kalın humus tabakasına sahip derin topraklarda en iyi gelişimi göstermektedir (Zech vd., 1972). Bu tür topraklarda kök yayılış derinliği ile boy büyümesi arasında doğrudan bir ilişki gözlenmiştir. Kızılçam için optimum pH aralığı 6.0 ila 7.5 arasında değişmektedir (Günsur, 1962). Ancak, bu tür 5.6 ila 7.8 pH aralığında da doğal olarak yetişebilmektedir (Zechvd, 1972; Neyişçi, 1987).

Kızılçam yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık seyreden Akdeniz iklim bölgesinde yayılış göstermektedir. Isı ve ışık isteğı oldukça fazla olan tipik ışık ağacıdır. Kızılçam en hızlı gelişen türlerinden biridir ve aynı yaşlı ve tek katlı olarak meşcere kuruluşu göstermektedir. Odun üretimi işletme amacıyla kısa idare süresiyle işletilebilirken, koruma ve hizmet amaçlı işletme sınıflarında uzun idare süreli işletilebilmektedir.

Kızılçam; yüksek ağaçlandırma başarısı, yüksek miktarda ürün eldesi, doğaya yakın ormancılık faaliyetlerinde pratik uygulamalara uygun olması özellikleriyle çalışmalara

öncülük etmekte olan başlıca ağaç türümüzdür. Ancak, Kızılçam gibi değerli ağaç türlerine olan baskılar da oldukça belirgindir. Ormanların tahrip edilmesi, aşırı kesim, yangınlar ve iklim değişikliği gibi faktörler, Kızılçam yayılışını tehdit etmektedir. Diğer taraftan, yüksek ağaçlandırma başarısı, yüksek miktarda ürün eldesi ve doğaya yakın ormancılık faaliyetlerinde pratik uygulamalara uygun olması gibi özellikleriyle Kızılçam, çalışmalara öncülük etmekte olan başlıca ağaç türlerimizden biridir. Bu nedenle, Kızılçamın korunması ve sürdürülebilir yönetimi için çeşitli çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Hazırlanan tez kapsamında, Akdeniz havzasında yer alan Antalya, Mersin, Adana ve Kahramanmaraş Orman Bölge Müdürlükleri'nin işletme şeflikleri (planlama birimleri) incelenmiştir (Şekil 1). Muğla Bölge Müdürlüğü, başlangıçta çalışma alanına dahil edilmiş olmasına karşın, planlama sürecinin envanter aşamasında bölge müdürlüğü kapsamındaki ormanlarda klasik ağaç serveti envanteri yapılmadığı anlaşılmıştır. Bu nedenle, Muğla Bölge Müdürlüğü'nün verileri analize dahil edilmemiştir. Bölge müdürlüklerinin her bir planlama ünitesindeki “Kızılçam Toprak Koruma İşletme Sınıfı” alanları seçilip katman olarak kaydedilmiştir (Şekil 1).



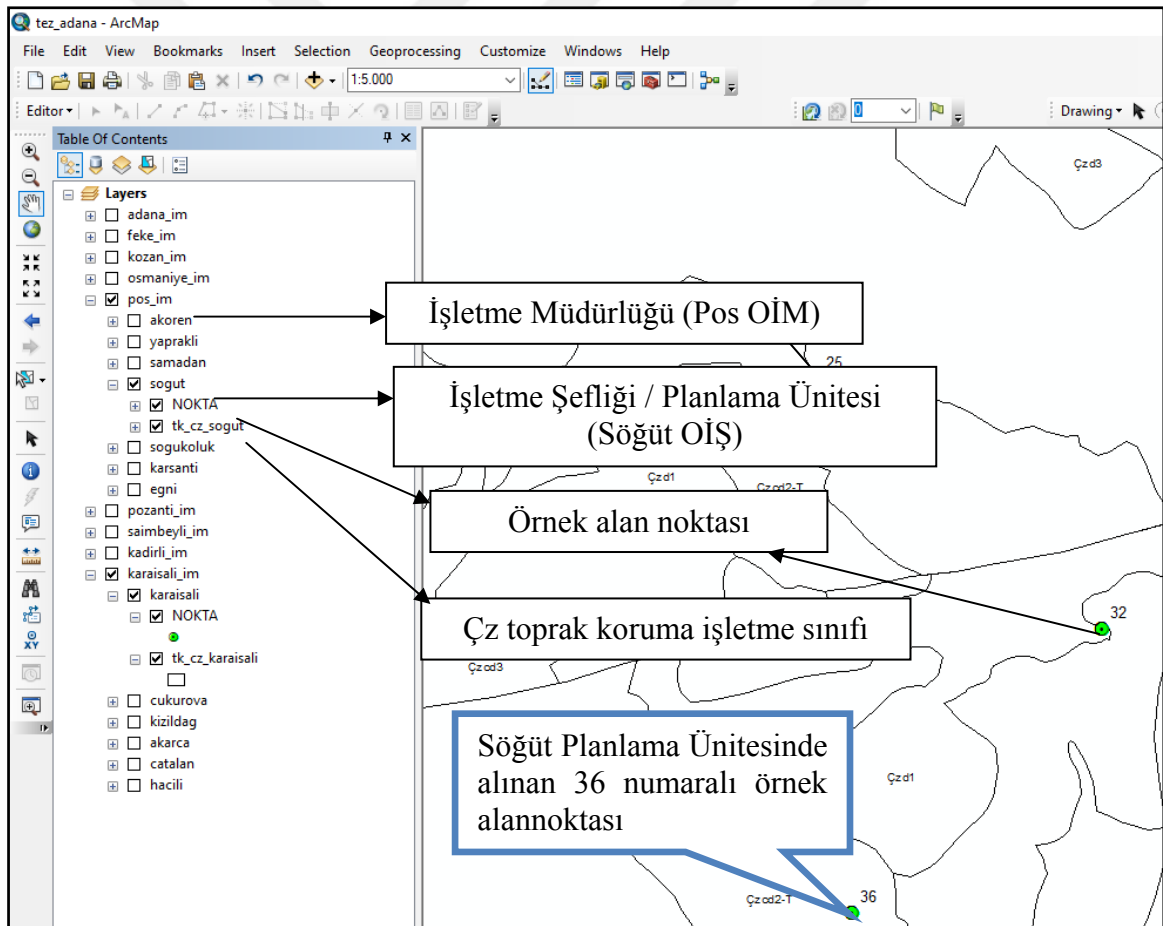
Şekil 1. Çalışma alanının konumsal gösterimi (2020)

Kızılçamın hakim olduğu toprak koruma işletme sınıfları, erozyonu önleme amacıyla ayrılmaktadır. Bu işletme sınıflarına düşen örnek alanlar ve bu işletme sınıflarındaki meşcerelere ilişkin bileşenler veri kaynağının temelini oluşturmaktadır.

2.2. Veri Kaynakları

2.2.1. Meşcere Bileşenlerinin Temin Edilmesi

Antalya, Mersin, Adana, Kahramanmaraş Bölge Müdürlüğü sınırları içinde kalan tüm planlama ünitelerine (orman işletme şeflikleri) ait coğrafi veri tabanı Orman Genel Müdürlüğü’nden sayısal ortamda temin edilmiştir. Planlama ünitelerine ilişkin bölme, meşcere tipi, bonitet, işletme sınıfı, yaş sınıfı, kapalılık, gelişme çağı, eğim, bakı gibi farklı veriler içeren “bölmecek” katmanı ve bunun yanında alınan örnek alanların yer aldığı “nokta” katmanı içinden; toprak koruma işletme sınıfına dahil olanlar; her bölge müdürlüğü için ayrı katman olarak kaydedilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışmada kullanılan coğrafi veri tabanı

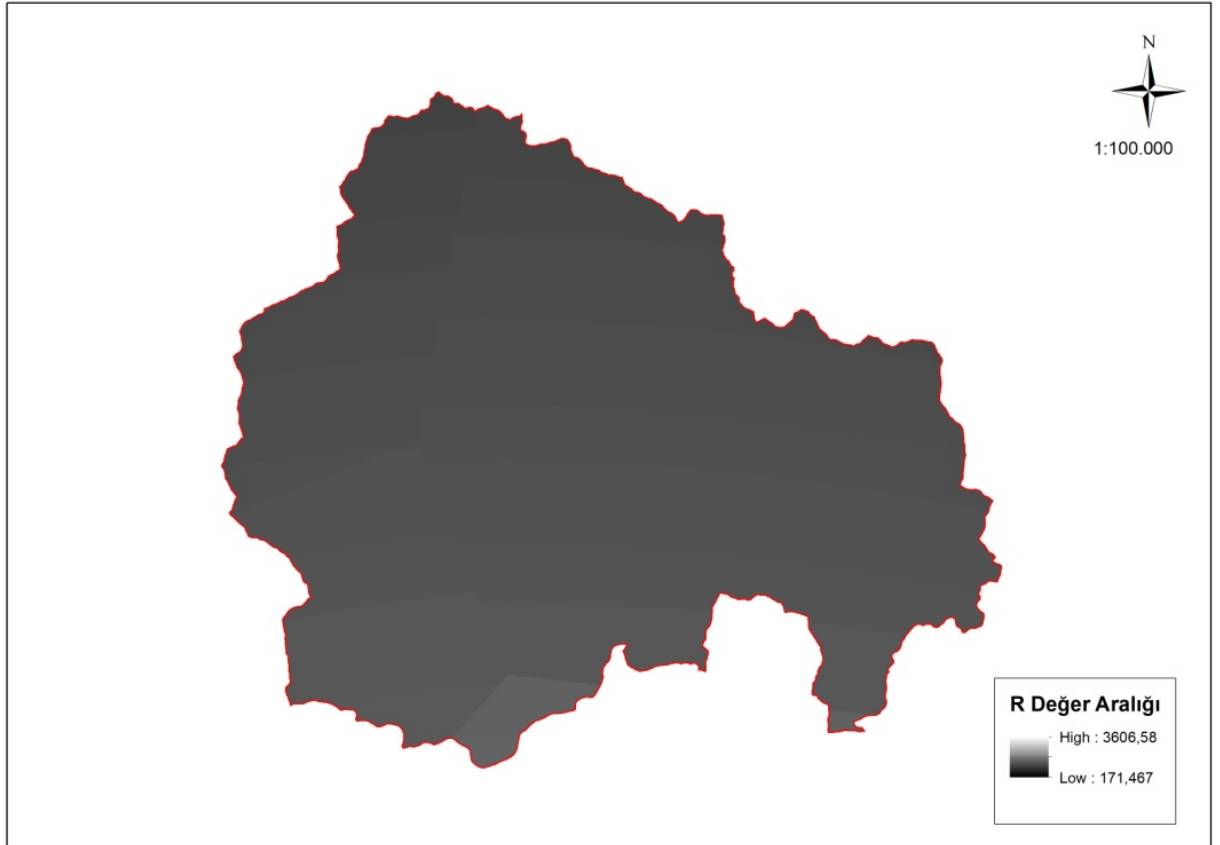
Sayısal coğrafi veri tabanı dışında; Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi denetiminde, orman amenajman yönetmeliğine ve “Ekosistem Tabanlı

Çalışmada; “Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü” (ÇEM) tarafından DEMİS kapsamında üretilen yıllık hektarda erozyon kaybı haritası, altlık olarak kullanılmıştır. Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi" (DEMİS), “Çevre ve Şehircilik Bakanlığı” tarafından yürütülen proje olup, erozyonla mücadele ve toprak kaybının izlenmesi amacıyla geliştirilmiştir. DEMİS'in temel amacı; erozyonun etkilerini belirlemek, toprak kaybını izlemek ve bu alanlarda etkili erozyon kontrol ve rehabilitasyon

Çalışmada; “Erozyon miktarı hesabında Yenilenmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği” (YETKE) / “Revised Universal Soil Loss Equation” (RUSLE) için yağışın aşındırma gücü, toprak erozyon duyarlılığı, arazi eğim uzunluğu, arazinin eğim dikliği ve bitkisel örtü ve toprak koruma yöntemleri birer parametre olarak kullanılmıştır. Bu eşitliğin sonucunda 10mx10m (birim alan 100 m²) hassasiyetinde haritalar üretilmiştir. Haritalar hazırlanırken 329 adet otomatik meteoroloji gözlem istasyonundan elde edilmiş 10 yıllık veriler, Orman Genel Müdürlüğünün üretmiş olduğu meşcere haritaları, CORİNE 2012 haritası ve çeşitli kurumların ürettiği 22.000 adet toprak profili verisi ile ülkemizi kapsayan

10x10 m hassasiyette sayısal yüksek modeli kullanılmıştır. Bu kapsamda yararlanılan verilere ilişkin bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

Yağışın Aşındırma Gücü R-Faktörü: Ülkemizde su erozyonunu hesaplanırken yağışın aşındırma gücünün hesaplanması için MGM'den elde edilen 329 adet OMGI verisi kullanılmıştır. İstasyon değerlerinin 30 dakikalık intensiteleri ve sonrasında buna bağlı olarak R-değerleri hesaplanmıştır. Hesaplama $R = E \cdot i30$ denklemi kullanılmış olup, ülkemize ait bir R katmanı elde edilmiştir. İstasyonların homojen dağılmaması sebebiyle, verisi olmayan alanlara ait değerleri; ArcGIS yazılımı IDW (Inverse Distance Weighting) metodu kullanarak türetilmiştir. R değeri için pikseller 10 m çözünürlüktedir (Şekil 5).

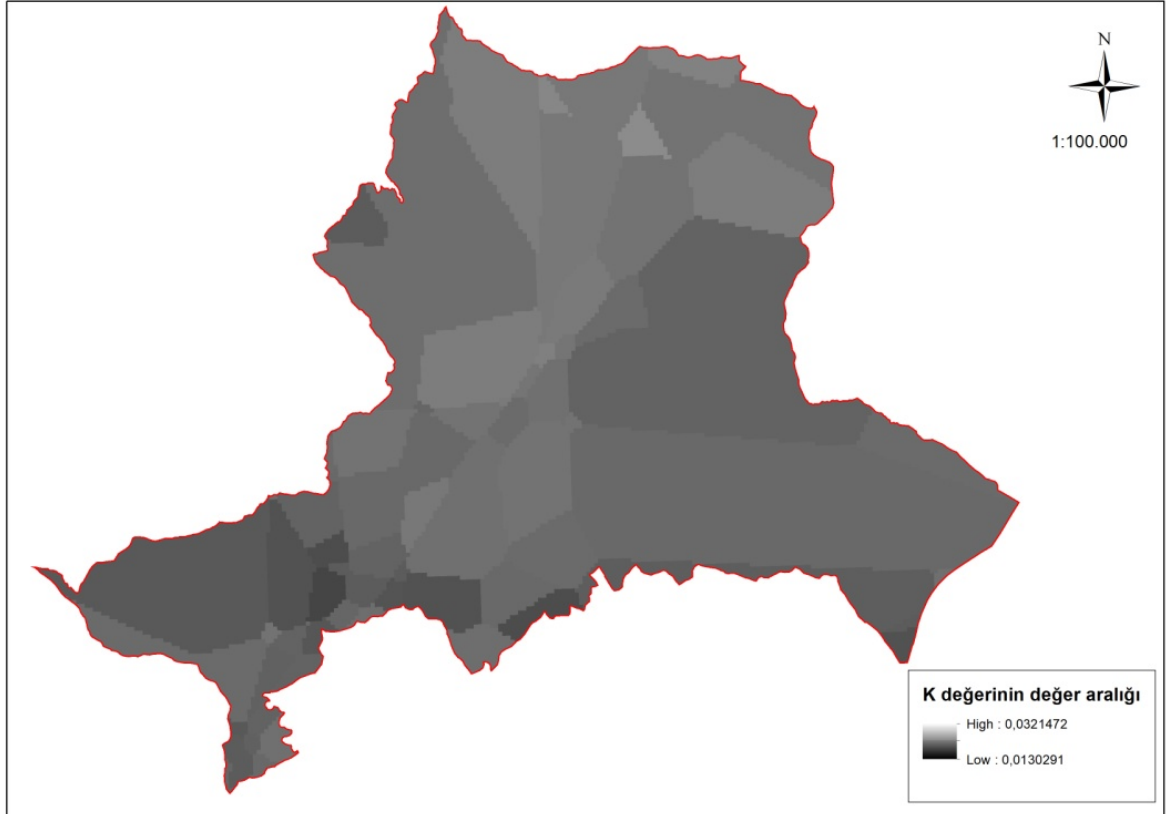


Şekil 5. R değerinin gösterimi (Hatay-Belen OIŞ)

Toprak erozyon duyarlılığı K – Faktörü: K değeri için yaklaşık 115,000 toprak profil verisi kullanılmıştır. Bu veriler; çeşitli projeler kapsamında alınan toprak örneklerine dayanmaktadır. Farklı verilerin kullanılmış olması ve standart veriler olmaması sebebiyle k faktörünün hesaplanmasında 3 farklı denklem kullanılmıştır (Şekil 6) (Tablo 4).

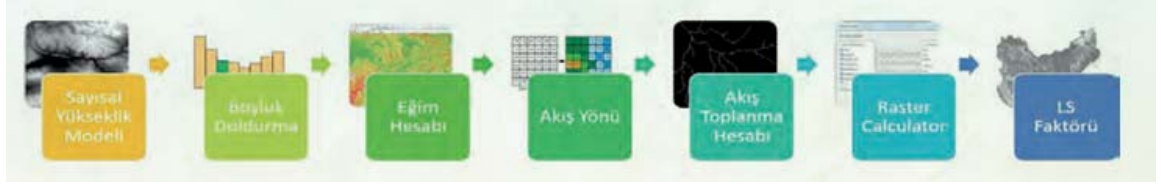
Tablo 4. K parametresinin hesaplanmasında kullanılan matematiksel denklemler

	Matematiksel Eşitlik	Veri seti
Renard vd. (1997)	$K_n = 2,767 \cdot 10^{-7} (12 - OM) M^{1.14} (S - 2) + 3,294 \cdot 10^{-3} (P - 3)$	Organik madde (OM), Toprak Yapısı (s) ve toprak geçirgenliği sınıfları (p)
Römkens vd. (1986)	$K = 0,0034 + 0,0405 \cdot \exp\left[-0.5 \left(\frac{\log D_g + 1.659}{0.7101}\right)^2\right]$ $D_g = \exp\left\{ \left[(\%kil) \ln\left(\frac{0,002}{2}\right) \right] + \left[(\%silt) \ln\left(\frac{0,05 + 0,002}{2}\right) \right] + \left[(\%kum) \ln\left(\frac{2 + 0,05}{2}\right) \right] \right\}$	Kil, Kum ve Silt
Torri vd. (1997)	$K_n = 0,0293 (0,65 - D_G + 0,24 D_G^2) \cdot \exp\left\{ -0,0021 \left(\frac{OM}{C}\right) - 0,00037 \left(\frac{OM}{C}\right)^2 - 4,02C + 1,72C^2 \right\}$ $D_{gkil} = 0,01 [(kil) \log_{10}(\sqrt{0,002})]$ $D_{gsilt} = 0,01 [(silt) \log_{10}(\sqrt{0,05 * 0,002})]$ $D_{gkum} = 0,01 [(kum) \log_{10}(\sqrt{2 * 0,05})]$	Organik madde (OM), Kil, Kum ve Silt



Şekil 6. K değerinin gösterimi (Hatay-Belen OİŞ)

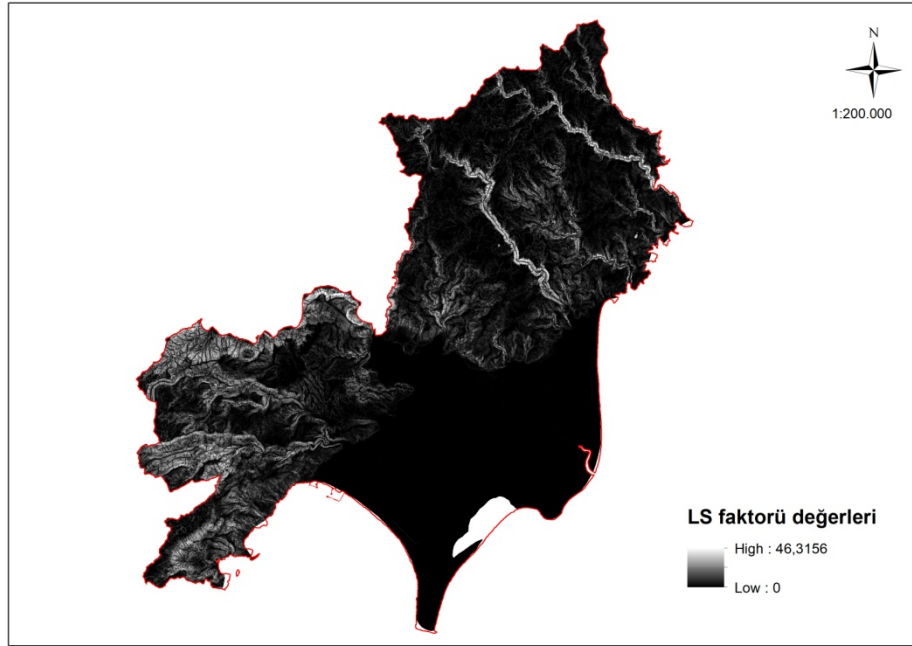
Arazi Eğim Uzunluğu ve Dikliği LS-Faktörü: Ülkemizde kullanılan LS değeri, havza bazlı ArcGIS mosaic Tool Box yardımıyla hesaplanmıştır (Şekil 7) (Şekil 8).



Şekil 7. LS faktörü hesaplama aşamaları

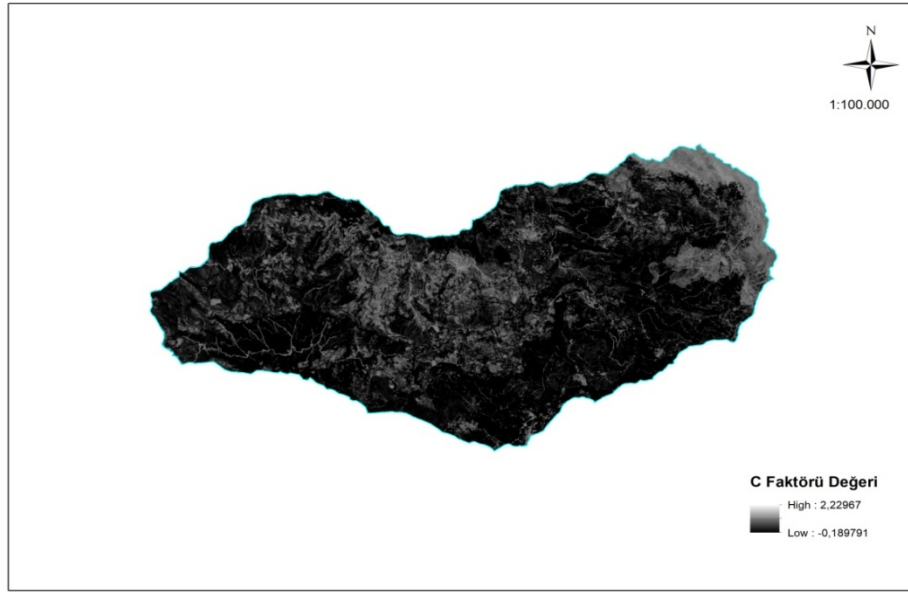
Hesaplama aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$LS = \left(\frac{xn}{22,13} \right)^{0,4} * \left(\frac{\sin \theta}{0,0896} \right)$$



Şekil 8. LS faktörü değeri (Mersin OBM-Silifke OİŞ)

Bitkisel Örtü ve Ürün C-Faktörü: Toprak erozyonuna etki eden ve müdahale sonuçlarında erozyon miktarının azaltılması ya da artırmasındaki en önemli faktördür. Üretiminde; 2018 yılında mevcut meşcere haritaları ve 2018 yılı güncellemeleri yapılan CORINE haritası kullanılmıştır. Sınıflandırma sonunda oluşan poligonlara Avrupa Birliği Ortak Araştırma Merkezi tarafında kullanılan C değerleri dağıtılmıştır (Şekil 9) (Tablo 5).



Şekil 9. C faktörü değeri (Antalya OBM-Doğanca OİŞ)

Tablo 5. DEMİS’de kullanılan CORINE C-faktörü değerleri (Panagos et al., 2015)

Grup	CLC Sınıfı	Detaylı Sınıf	C-Faktör Değerleri (C _{landuse})
Sürekli bitki örtüsü	221	Üzüm bağları	0,15-0,45
	222	Meyve ağaçları & Dut tarlaları	0,1-0,3
Otlaklar	223	Zeytinlikler	0,1-0,3
	231	Otlaklar	0,05-0,15
Heterojen tarım alanları	241	Kalıcı bitkilerle ilişkili yıllık ürünler	0,07-0,35
	242	Komplex ekim modelleri	0,07-0,2
	243	Temel olarak doğal bitki örtüsü ile tarım için kullanılan arazi	0,05-0,2
	244	Tarımsal ormancılık alanları	0,03-0,13
Ormanlar	311	Geniş yapraklı ormanlar	0,0001-0,003
	312	İğne yapraklı ormanlar	0,0001-0,003
	313	Karışık ormanlar	0,0001-0,003
Bodur ve/veya Otsu bitki grupları	321	Doğal çayırliklar	0,01-0,08
	322	Fundalık ve çalılık	0,01-0,1
	323	Sklerofil bitki örtüsü	0,01-0,1
	324	Ormandan fundalığa geçiş alanları	0,003-0,05
Çok az veya hiç bitki örtüsü olmayan açık alanlar	331	Plajlar, kumul tepeleri, kumlar	0
	332	Çıplak kayalar	0
	333	Seyrek bitki örtüsü alanları	0,1-0,45
	334	Yanmış alanlar	0,1-0,55
	335	Buzullar ve sürekli kar altındaki alanlar	0

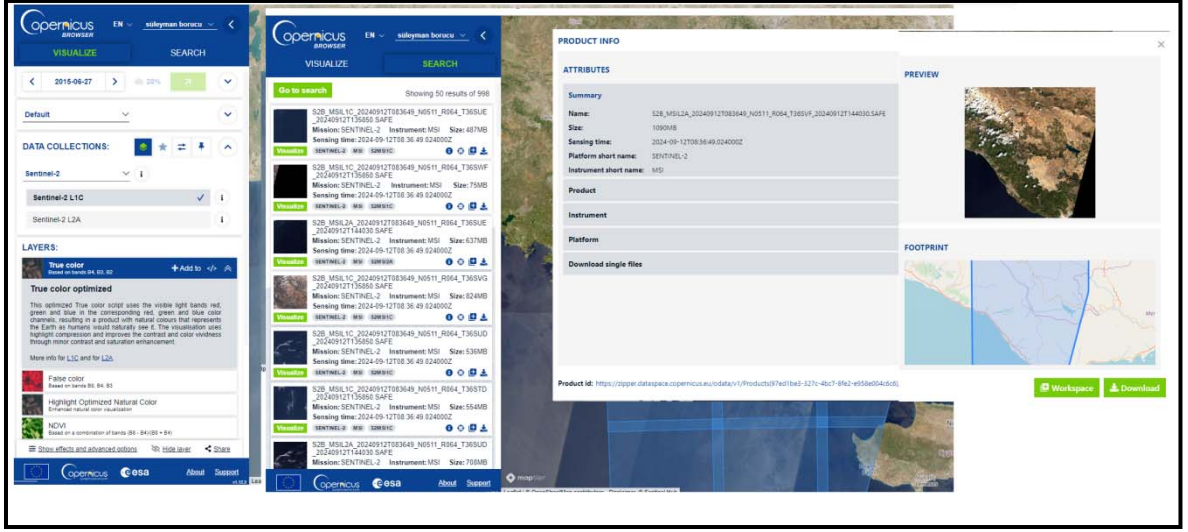
Toprak Koruma Yöntemleri P-Faktörü: Bitkilendirme dışındaki; teraslama, otlandırma, enine yapı gibi toprak koruma yöntemi, bu parametre verisi olarak değerlendirilmektedir. Toprak koruma yöntemlerine ait veri elde edilememesi sebebiyle hesaplamada P-değeri “1” olarak kabul edilmiştir.

Türkiye'de DEMİS sonuçlarına göre, her yıl su erozyonu nedeniyle 642 milyon ton toprak hareket etmektedir. Bu durum, hektar başına ortalama 8,24 ton toprak kaybına yol açmaktadır. Ülkenin yüzölçümünün %60,28'inde çok hafif, %19,13'ünde hafif, %7,93'ünde orta, %5,97'sinde şiddetli ve %6,7'sinde çok şiddetli erozyon görülmektedir. Toprak kayıplarının konumsal ve miktarsal değişiminde çeşitli faktörler etkili olmaktadır. Yağış %14,26, toprak özellikleri %3,36 topografya %47,55 ve bitki örtüsü %34,82 oranında toprak kaybına katkı sağlamaktadır. Arazi kullanımına göre, yer değiştiren toprağın; %53,66'sı mera alanlarında, %38,71'i tarım alanlarında ve %4,17'si ise orman alanlarında gerçekleşmektedir.

2.2.3. Sentinel-2 Uydu Görüntü Verileri

Sentinel-2 uydu görüntüleri, <https://dataspace.copernicus.eu> adresinden indirilerek kullanılmıştır. Planlama üniteleri için yapılmış olan orman amenajman planlarının uygulandığı yıllara en yakın zamana ait uydu görüntüleri tercih edilmiştir (Şekil 10). Bu yaklaşımın amacı; meşcere bileşenleri ile uydu görüntüleri arasındaki yıl farkını en aza indirerek planlama ve analiz süreçlerinde daha güncel ve doğru verilerin kullanılmasını sağlamaktır. Dolayısıyla, meşcere bileşenlerinin belirlendiği zaman dilimi ile uydu görüntülerinin çekildiği zaman dilimi arasındaki fark minimize edilmeye çalışılmıştır. Bu doğrultuda; Adana Orman Bölge Müdürlüğü'nü kapsayan 2015 yılına ait uydu görüntüleri, Antalya Orman Bölge Müdürlüğü için 2015, 2016, 2017 ve 2020 yıllarına ait uydu görüntüleri, Kahramanmaraş Orman Bölge Müdürlüğü için 2015 yılına ait uydu görüntüleri ve son olarak Mersin Orman Bölge Müdürlüğü'ne ait 2015, 2016 ve 2017 yıllarına ilişkin uydu görüntüleri kullanılmıştır.

Uydu görüntüleri indirilirken öncelikle Mayıs ve Haziran ayları tercih edilmiştir. Bu tercihin sebebi, Akdeniz Bölgesinde bulut oranının bu aylarda en az olduğu zaman dilimlerine denk gelmesidir. Mayıs ve Haziran ayları, genellikle Akdeniz Bölgesi'nde daha az bulutlanma ve daha açık hava koşulları sağlamakta, bu da daha net ve güvenilir görüntüler elde etmeyi mümkün hale getirmektedir.

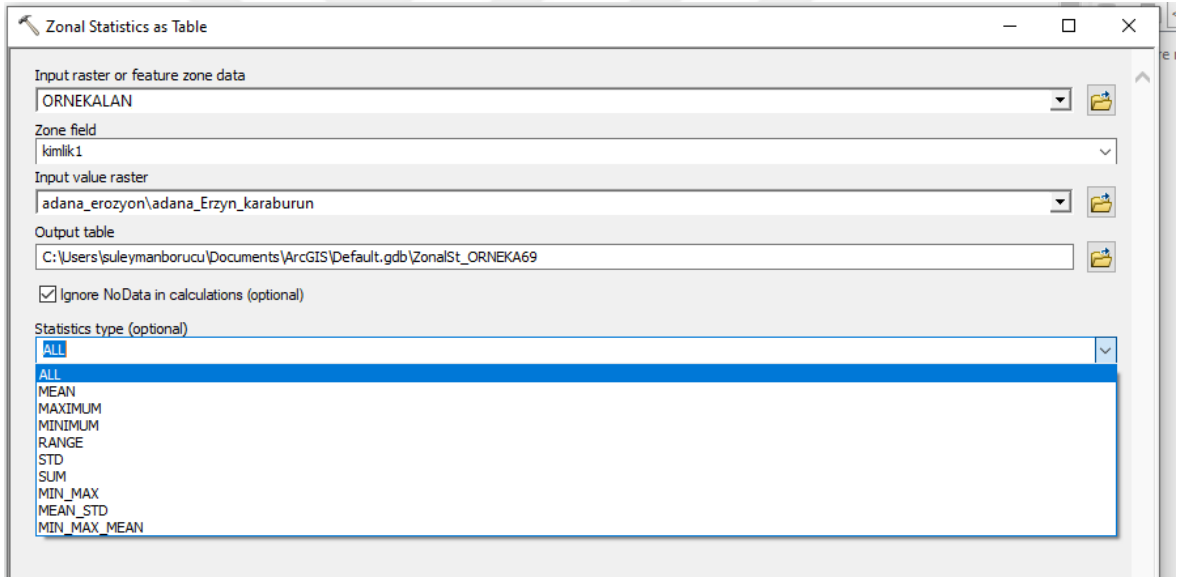


Şekil 10. Copernicus sitesinde uydu indirilmesi aşamaları

2.3. Çalışmada Kullanılan Yazılımlar

ArcGIS 10.5™: Bu çalışmada, ArcGIS Desktop uygulamalarından ArcMap arayüzü kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. ArcMap, ESRI tarafından geliştirilen ArcGIS Desktop yazılımının bir parçasıdır ve CBS haritalama ve analiz uygulamasıdır. ArcMap'in çeşitli faydaları bulunmaktadır. İlk olarak, coğrafi verilerin haritalanması için kullanılmaktadır. Kullanıcılar, farklı veri katmanlarını görüntüleyebilir, renklendirme ve sembolizasyon ayarları yapabilir ve harita kompozisyonunu düzenleyebilirler. Ayrıca, ArcMap çeşitli analizler gerçekleştirmek için araçlar ve fonksiyonlar sağlamaktadır. Kullanıcılar, coğrafi sorgular yapabilir, coğrafi işlemler gerçekleştirebilir ve sonuçları görsel olarak temsil edebilirler. ArcMap, ayrıca coğrafi veritabanlarındaki verilerin düzenlenmesi, sorgulanması ve yönetilmesi için imkanlar sunmaktadır. Kullanıcılar, veritabanları arasında ilişkiler oluşturabilir, veri tablolarını düzenleyebilir ve veri bütünlüğünü koruyabilirler. Ayrıca, oluşturulan haritaların raporlanması için çeşitli araçlar da sunulmaktadır. Kullanıcılar haritaları; pdf, görüntü veya interaktif web haritası formatlarında dışa aktarabilir ve rapor oluşturabilirler. Son olarak, ArcMap diğer ArcGIS yazılımları ve diğer yazılımlarla entegre çalışabilir. Ayrıca, ArcMap, çeşitli coğrafi veri formatlarını destekler ve mevcut veri tabanlarıyla uyum içinde çalışır. Bu da CBS projelerini yönetmek ve coğrafi verileri analiz etmek için onu güçlü bir araç haline getirmektedir. Kullanıcılar, bu uyumluluk sayesinde farklı kaynaklardan gelen verileri entegre ederek karmaşık analizler yapabilmektedir.

Çalışmada, konumsal düzenleme, veri kontrolü ve derleme süreçleri ArcGIS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, kapsamlı bir veri tabanı oluşturulmuş ve meşcere bileşenleri nokta katmanı içinde yapılandırılarak veri tabanına sütunlar halinde eklenmiştir. Veri tabanının oluşturulma aşamasında, alanın mevcut durumu değerlendirilmiş, konumsal veriler detaylandırılmış ve düzenlemeler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, verilerin tematik ve konumsal uyumu detaylı şekilde incelenmiş, veri kalitesinin artırılması için düzenlemeler yapılmıştır. Veri yönetim sürecinde, farklı kaynaklardan elde edilen veriler bir araya getirilmiş, koordinat sistemleri uyumlu hale getirilmiş ve verilerin konumsal doğruluğu test edilmiştir. ARCGIS yazılımının sunduğu CBS analiz yetenekleri kullanılarak, verilerin konumsal analizleri yapılmış; meşcere bileşenlerinin sütun olarak eklenmesi ile verilerin görsel ve sayısal analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. ArcGIS “zonal statistics as table” komutu uygulaması

SNAP (Sentinel Application Platform): ESA (European Space Agency) tarafından geliştirilen açık kaynaklı bir yazılım platformudur. Bu platform; Sentinel uyduları tarafından toplanan verileri işlemek, analiz etmek ve görselleştirmek için kullanılmaktadır. SNAP, çok çeşitli uygulamalara sahiptir ve özellikle uzaktan algılama, çevre izleme, tarım, ormancılık, su yönetimi ve afet izleme gibi alanlarda kullanım sağlamaktadır. SNAP, Sentinel uydularının yüksek çözünürlüklü ve geniş kapsamlı verilerini işlemek için araçlar sağlamaktadır. Bu araçlar, görüntü işleme, radyometrik düzeltme, spektral analiz, veri

füzyonu ve sınıflandırma gibi işlemleri gerçekleştirmek için kullanılabilir. Ayrıca, SNAP kullanıcılarına; veri görselleştirme, istatistiksel analiz ve coğrafi bilgi sistemleri entegrasyonu gibi çeşitli analiz ve raporlama seçenekleri sunmaktadır. SNAP; araştırmacılar, uzmanlar ve çevre uzmanları gibi geniş yelpazedeki kullanıcılar tarafından tercih edilmektedir. Açık kaynaklı olması ve geniş işlevsellik sunması, uzaktan algılama çalışmaları için önemli bir araç haline gelmesine imkan tanımıştır.

SNAP Band Extractor komutu; görüntülerden belirli bantları farklı bir klasöre/yere çıkarmak veya ayıklamak için kullanılan bir araçtır. Sentinel uydu görüntülerinde, farklı bantlar farklı dalga boylarını temsil etmekte ve belirli spektral bölgelerdeki bilgileri içermektedir. Örneğin, Sentinel-2 görüntülerinde; kırmızı, yeşil ve mavi gibi farklı bantlar bulunmaktadır. SNAP Band Extractor ile kullanıcılar, görüntülerden istedikleri bantları seçebilmektedirler. Bu komut, özellikle belirli analiz veya işlemler için gereken spektral bilgileri elde etmek için kullanışlıdır. Örneğin, bitki örtüsü analizi yapmak için klorofil içeriğini yansıtan kırmızı ve yakın kızılötesi bantlar ayıklanabilmektedir. Bu araç, veri işleme ve analizinde esneklik sağlamak ve kullanıcılara istedikleri bantları seçerek görüntüler üzerinde özelleştirilmiş işlemler gerçekleştirme olanağı sunmaktadır.

Sen2Cor; Sentinel-2 verilerinin işlenmesi ve atmosferik düzeltme yapılması için kullanılan bir yazılım programıdır. Bu yazılım, Sentinel-2 görüntülerindeki atmosferik etkileri düzeltebilir. Atmosferik düzeltme işlemi, hava katmanından gelen ışığın sahadaki yansıtma değerlerine olan etkisini azaltarak, daha doğru ve güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Sen2Cor, Sentinel-2 görüntülerinde sıklıkla bulunan bulut ve gölgeleri tespit edebilmekte ve daha temiz ve kullanılabilir veriler elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Böylece, analiz ve yorumlama kolaylaşmakta ve kullanıcılara daha güvenilir sonuçlar sunmaktadır. Yüzey yansıtma değerlerinin (reflectance) elde edilmesi, Sen2Cor'un bir diğer önemli özelliğidir. Bu yazılım, yüzeyin gerçek yansıtma değerlerini elde etmek için gerekli olan işlemleri gerçekleştirmektedir. Bu da bitki örtüsü, toprak, su ve diğer yüzey özelliklerinin daha doğru bir şekilde haritalanmasına ve analiz edilmesine olanak sağlamaktadır. Sen2Cor, kullanıcı dostu bir arayüze sahiptir ve genellikle otomatik işleme yeteneği sunmaktadır. Böylece, büyük boyutlu Sentinel-2 verileri daha hızlı ve verimli şekilde işlenebilmekte, bu da araştırmacıların zaman ve kaynak tasarrufu yapmalarını sağlamaktadır. Ayrıca, Sen2Cor açık kaynaklı bir yazılımdır ve ücretsiz olarak sunulmaktadır. Bu da kullanıcıların yazılımı gerektiğinde özelleştirmesine veya

geliştirmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca, kullanıcıların ihtiyaçlarına göre uyarlanabilmesini ve yaygın olarak tercih edilmesini sağlamaktadır.

Çalışmada metin düzenleme ve biçimlendirme işlemleri için Microsoft Word, veri organizasyonu, hesaplamalar, veri analizi, raporlama ve grafikler için ise Microsoft Excel programları kullanılmıştır.

Ayrıca çalışmada veri analizi ve istatistiksel hesaplamalar için IBM SPSS 22 programı kullanılmıştır.

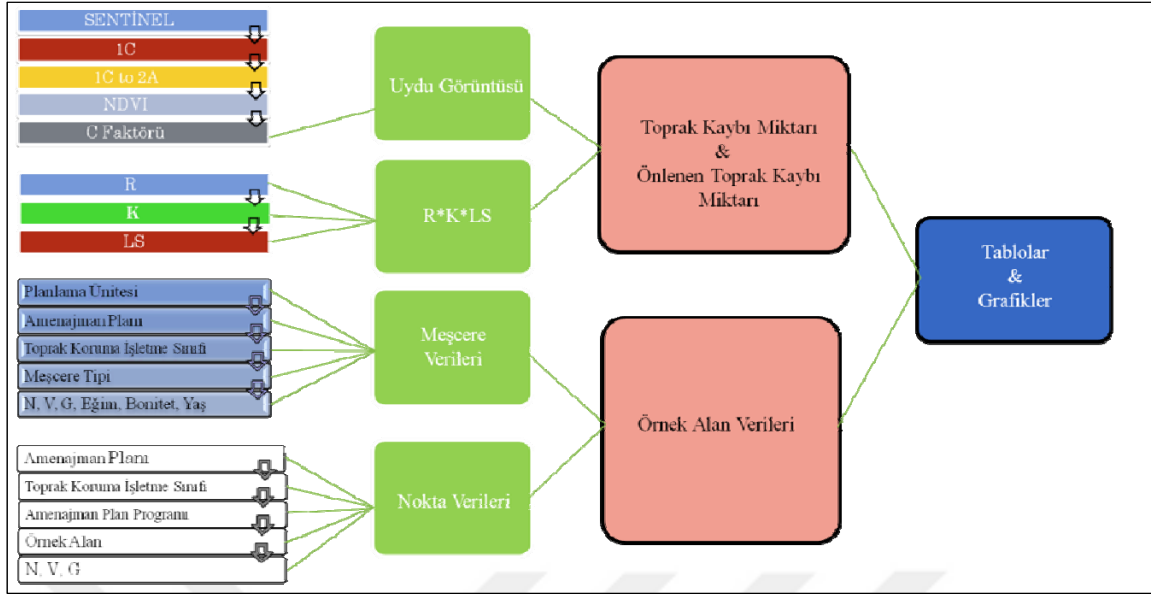
2.3.1. Çalışmada Kullanılan Diğer Yardımcı Veri Kaynakları

Hazırlanan tez çalışmasında örnekleme alanlarının eğim hesabında kullanılmak üzere; örnekleme alanlarının düştüğü alanlara ilişkin eşyükselti eğrileri kullanılmıştır.

2.4. Yöntem

Amaç ve hedefler kapsamında, orman amenajman planlarında toprak koruma işletme sınıflarında meşcere bileşenleri ve toprak kaybı değerleri; farklı yaş sınıfları, eğim grupları, bonitet sınıfları, vb. parametrelere göre analiz edilmiştir. Amenajman Plan Programından (APP) elde edilen envanter verileri (örnek alandaki hacim, göğüs yüzeyi, ve ağaç sayısı) ile amenajman planından alınan meşcere tipleri hacim, göğüs yüzeyi ve ağaç sayısı ve erozyon miktarları haritası konumsal eşleştirilerek aralarındaki ilişkiler ortaya konmuştur.

Çalışmada amenajman plan verileri (hacim, göğüs yüzeyi ağaç sayısı vb.) ve erozyon değerleri CBS yardımıyla ilişkilendirilmiş ve analiz edilmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. Çalışmada uygulanan iş akış şeması

2.4.1. Veri Tabanı Tasarımı ve Kurulumu

Veri tabanı olarak Microsoft Office Access kullanılmıştır (Şekil 2). Microsoft Access bir “İlişkisel Veri Tabanı Yönetim Sistemi” uygulamasıdır. Access ile bir veri tabanını oluşturmak ve kullanmak, diğer veri tabanı uygulamalarına göre çok daha kolay olmaktadır. Bunun nedeni Access’in, Windows ortamının “Grafiksel Kullanıcı Arabirimi”nin sağladığı avantajlara tümüyle yararlanma imkanı vermesidir. “Grafiksel Kullanıcı Arabirimi”; karmaşık komut dizilerini öğrenmeyi gerektirmeden, ekran üzerindeki nesneler ve simgeler “Kayıt” yardımıyla, fare desteğinden de yararlanarak kullanıcının çalışmasına olanak vermektedir. Örneğin, geleneksel veri tabanı uygulamalarında iki tablo arasında bağlantı kurmak için oldukça karmaşık komut dizileri yazmak gerekirken, Access’te bu iş, basit bir fare hareketiyle gerçekleştirilebilmektedir (Şekil 13). Access veri tabanının seçilmesinin nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- ❖ Tasarım oluşturmanın kolay ve pratik olması,
- ❖ Verilerde sorgulama yapılabilmesi ve değişimler yapabilme kabiliyetinin olması,
- ❖ Sorgu sonuçların raporlanabilir olması,
- ❖ Kullanılan CBS yazılımının (ArcGIS 10.5 TM) Access veri tabanı kullanması,
- ❖ Microsoft Excel ile bağlantı yapılabilmesi

ID	NOK	X_KOOR	Y_KOOI	BOLGE_ADİ	İŞLETMEN	İŞLETME	B	MESCE	BONİT	YAS_SIN	EĞİ	MES_ADET	MES_HAC	B	NOKTA_TIP
10	138	286000	4160000	KAHRAMANMARAS	ANDIRIN	ANDIRIN	46	Czcd2	1	5	63	323	155,373		Czcd2
11	162	284800	4168400	KAHRAMANMARAS	ANDIRIN	ANDIRIN	44	Czcd3	1	5	54	614	237,443		Czcd3
12	163	285400	4168400	KAHRAMANMARAS	ANDIRIN	ANDIRIN	46	CzMcd2	1	4	65	402	128,838		CzMcd2
13	165	286300	4168400	KAHRAMANMARAS	ANDIRIN	ANDIRIN	47	Czcd3	2	5	65	614	237,443		Czd2
14	189	286000	4168100	KAHRAMANMARAS	ANDIRIN	ANDIRIN	47	Czcd3	2	5	65	614	237,443		Czcd3
15	190	286300	4168100	KAHRAMANMARAS	ANDIRIN	ANDIRIN	47	Czd2	2	6	65	319	254,190		Czd2
16	209	286300	4167800	KAHRAMANMARAS	ANDIRIN	ANDIRIN	47	Czcd2	2	5	69	323	155,373		Czcd2
17	233	286300	4167500	KAHRAMANMARAS	ANDIRIN	ANDIRIN	66	Czd1	2	6	74	180	134,477		Czd1
18	314	285700	4166300	KAHRAMANMARAS	ANDIRIN	ANDIRIN	83	Czcd2	2	5	63	164	82,140		Czcd3
19	315	286000	4166300	KAHRAMANMARAS	ANDIRIN	ANDIRIN	93	Czc3	2	4	49	591	155,976		Czc3
20	324	281200	4166000	KAHRAMANMARAS	ANDIRIN	ANDIRIN	135	Czcd2	2	5	78	323	155,373		Czcd2
21	326	285700	4166000	KAHRAMANMARAS	ANDIRIN	ANDIRIN	92	Czcd2	2	5	65	323	155,373		CzMbc2
22	348	279700	4165400	KAHRAMANMARAS	ANDIRIN	ANDIRIN	187	Czd2	2	6	62	319	254,190		Czd2

Şekil 13. Access ile veri tabanı tasarımı

Eğim değerleri belirli gruplar halinde sınıflandırılmış ve her örnek noktanın eğimi, ait olduğu eğim grubuna göre değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, her örnek noktasının eğimi, karşılık gelen eğim grubunda temsil edilmiştir. Bu yöntem, farklı eğim aralıklarının toprak kaybı üzerindeki etkilerini analiz etmeye ve eğim grupları arasında karşılaştırmalar yapmaya olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım, eğim değerlerinin belirli kategoriler altında toplanarak analiz edilmesini sağlamakta, böylece toprak koruma planlamasında daha sistematik ve bütüncül bir değerlendirme yapılmasına zemin hazırlamaktadır. Eğim gruplarının kullanımı, verilerin daha anlaşılır hale gelmesine katkı sağlamakta ve farklı eğim sınıflarının toprak kaybı üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak ortaya koymaktadır (Tablo 6).

Tablo 6. Eğim gruplarının alt ve üst değer aralıkları

Eğim değeri		Eğim grupları
Alt	Üst	
0	10	1
11	20	2
21	30	3
31	40	4
41	50	5
51	60	6
61	70	7
71	80	8
81	90	9
91	100	10

2.4.2. Sistem Tasarımı

Örnek alanlara ilişkin envanter verilerinin alınması: _Çalışma alanına ait envanter verileri APP'den (Amenajman Plan Programı) alınmıştır. APP içerisinde yer alan örnek alanlara ait; koordinat değerleri, örnek alan büyüklüğü, ağaç sayısı, hacmi, göğüs yüzeyi ve artım değerleri, Microsoft Access programında derlenmiş ve Microsoft Excel'e aktarılmıştır.

Amenajman planlarından meşcere bazında verilerinin alınması: _Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı tarafından yapılan ve yaptırılan tüm amenajman planlarında; hacim, artım ve göğüs yüzeyi değerleri APP programı üzerinden hesaplanmaktadır. Sonuçların tablolar halinde dökümü yapılmakta, amenajman planlarının içine açıklamalarıyla birlikte eklenmektedir. Her amenajman planından, toprak koruma işletme sınıflarının meşcere haritası ve meşcerelere ait eğim, bonitet, yaş sınıfı gibi değerler elde edilmiş ve meşcere tiplerinin hacmi, ağaç sayısı ve göğüs yüzeyi verileri alınmıştır.

Hasılat tablolarından verilerin alınması: Bilindiği üzere hasılat tablolarında bonitetlere göre optimal değerler yer almaktadır. Meşcerelerin yaşlarına ve yetiştirme ortamlarına göre optimalleri de meşcerelerde erozyonun minimuma indirgenecek optimal yapısının ortaya konulmasına rehberlik edecektir.

Erozyon haritalarından verilerin alınması: Toprak kaybı değerleri, ÇEM'den alınan raster formatındaki verinin CBS yazılımıyla vektör haline getirilmesi ile elde edilmiş ve çalışmada altlık olarak kullanılmıştır.

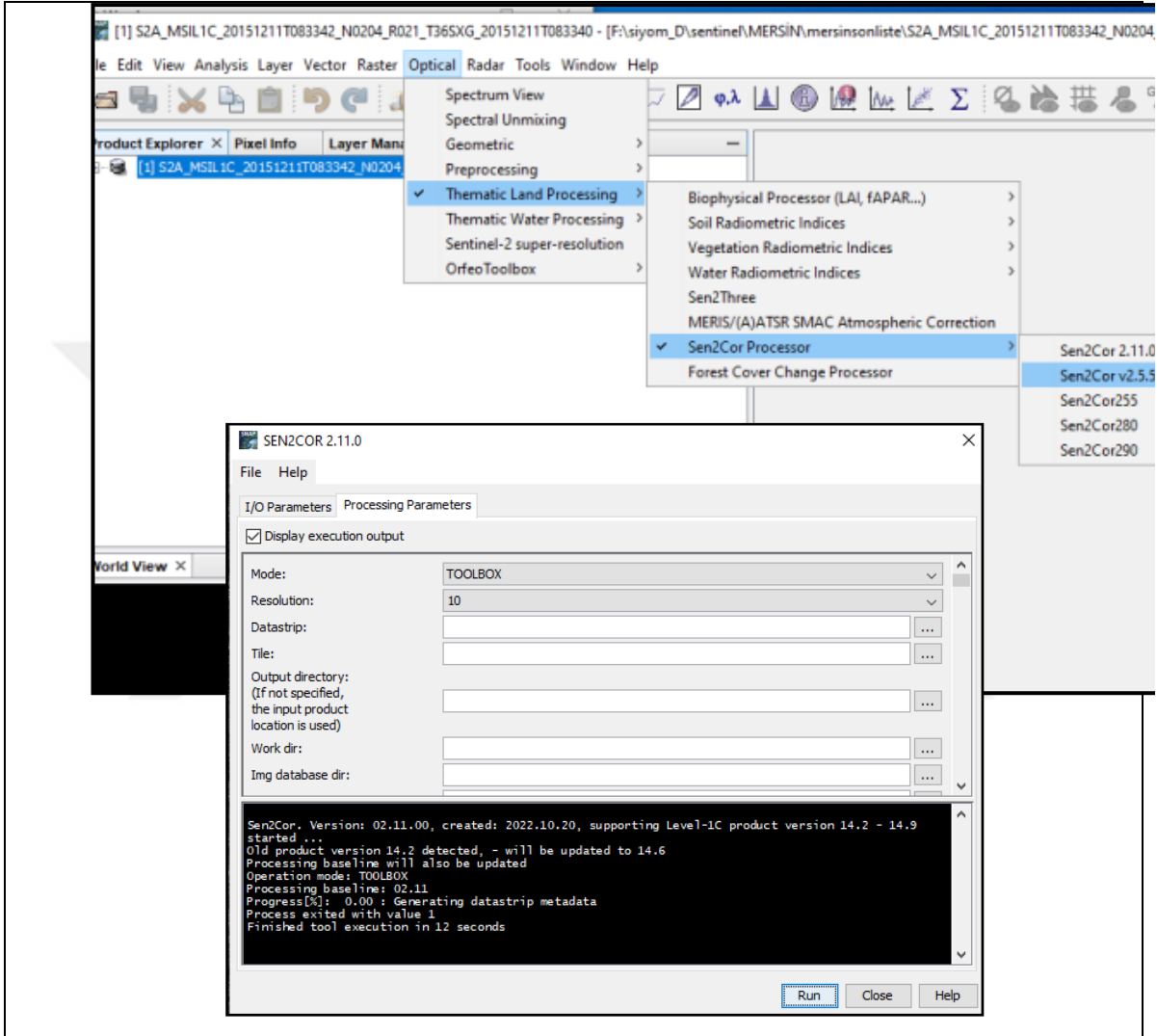
CBS Analizleri: Farklı katmanlara ilişkin verilerin bir araya getirilmesinde farklı overylay (bindirme) analizleri, konumsal sorgulamalar (select by location) vb. CBS analizlerinden faydalanılmıştır.

İstatistiksel analizlerin yapılması: Verilerin normal dağılım kontrolü ya da toprak kaybı değerleri ile farklı meşcere bileşenleri arasındaki ilişkiler, SPSS programı ile analiz edilmiştir.

2.4.3. Uydu Görüntülerinin Analizi

Web sitesinden indirilen görüntüler, bahsedilen tarihte 2A görüntü seviyesinin olmaması nedeniyle, 1C görüntü seviyesindedir. 1C seviyesindeki ham görüntüler, SNAP programı yardımıyla 1C formatından, 2A seviyesine dönüştürülmüştür. Dolayısıyla;

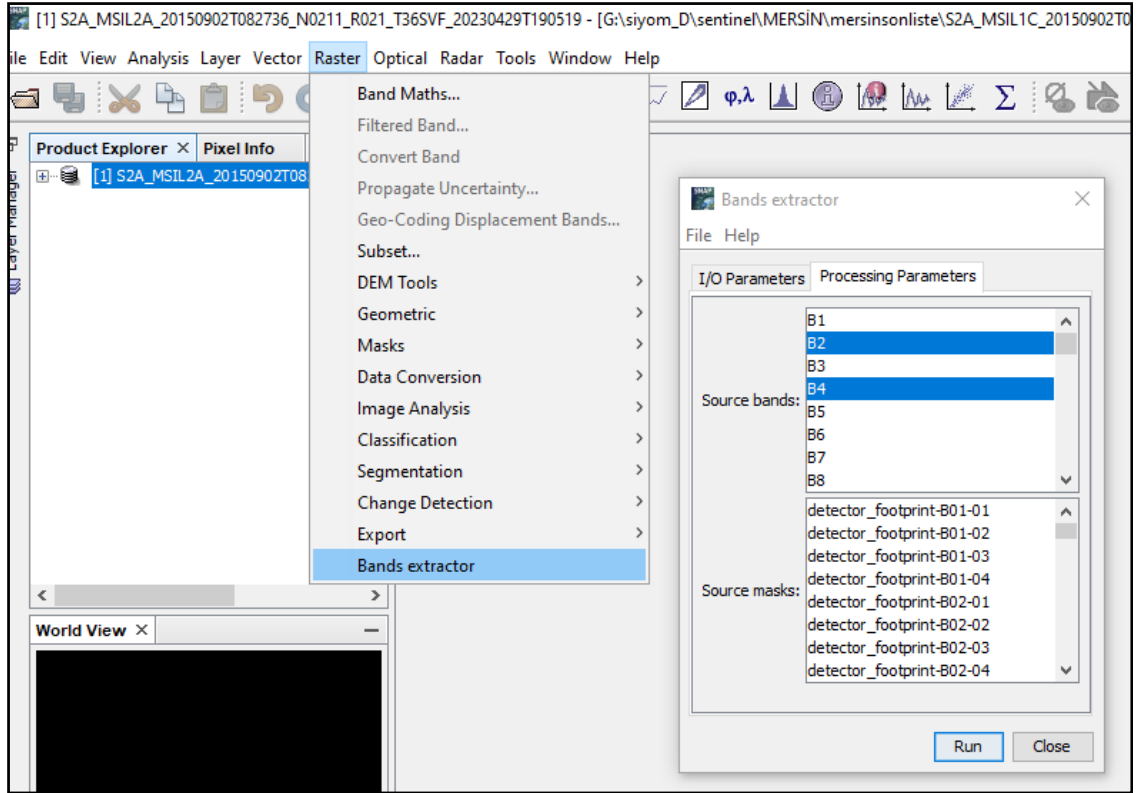
atmosfer üstü L1C değerleri, atmosfer altı L2A değerlerine dönüştürülmüştür. Özetle, uydu görüntüleri işlenmiş ve analiz için daha uygun hale getirilmiştir. Bu işlemler, SNAP programında eklenti olarak çalışan Sen2Core yardımıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 14).



Şekil 14. SNAP programında Sen2Core eklentisi

2.4.4. Uydu Görüntülerinin Birleştirilmesi

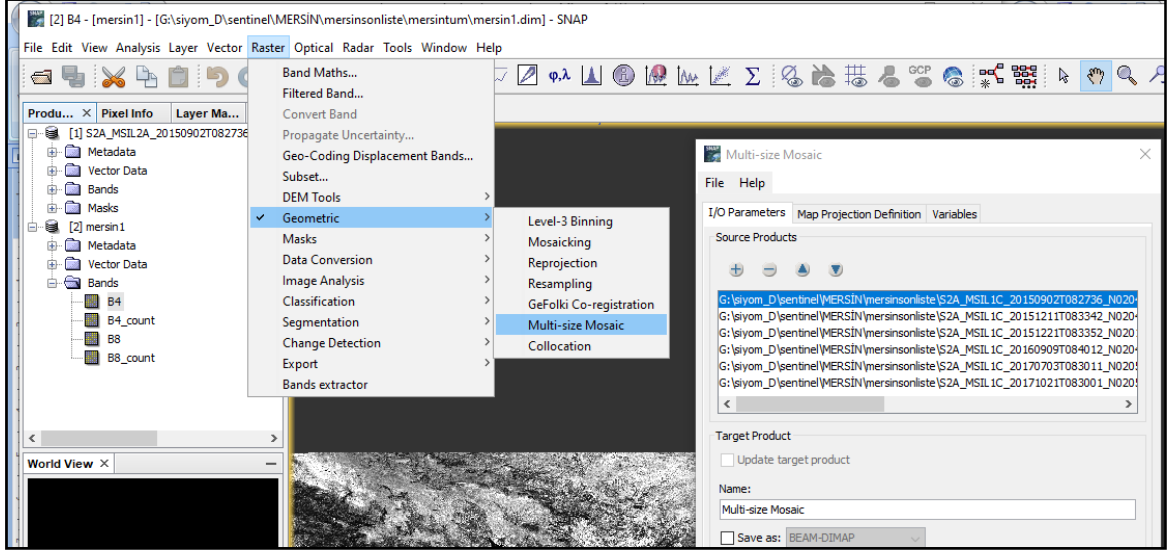
Sentinel-2 uydu görüntüleri SNAP programında sırasıyla açılmıştır. Sonrasında uydu görüntülerinden 4 ve 8 nolu bantlar SNAP Band Extractor yardımıyla ayrı katman olarak kaydedilmiştir. Böylece veri işleme aşamalarındaki karışıklık azaltılmış ve kullanılan yazılımın veri işlemede kolaylık sağlanmıştır (Şekil 15).



Şekil 15. SNAP programında “Band extractor” komutu

Vektör verileri; özellikle meşcere (poligon) ve örnek alan (nokta) verileri, işlem kolaylığı sağlamak ve veri yapısının yazılımlarda etkin bir şekilde kullanılabilmesini sağlamak amacıyla orman bölge müdürlüğü (OBM) düzeyinde derlenmiştir. Bu düzenleme, verilerin uyumlu bir şekilde yönetilmesini ve analiz edilmesini kolaylaştırmıştır. Buna ek olarak, uydu görüntüleri de konumsal örtüşme sağlamak amacıyla OBM sınırları içerisinde konumlandırılarak, SNAP yazılımında “multisize” komutu ile birleştirilmiştir. Bu birleştirme süreci, farklı çözünürlükteki görüntülerin uyumlu bir şekilde entegre edilmesine ve analizlerin daha doğru bir şekilde yapılmasına olanak tanımıştır. Bu yaklaşım, özellikle geniş alanlarda ve farklı veri kaynaklarıyla çalışırken işlemlerin hassasiyetini artırmıştır (Şekil 16).

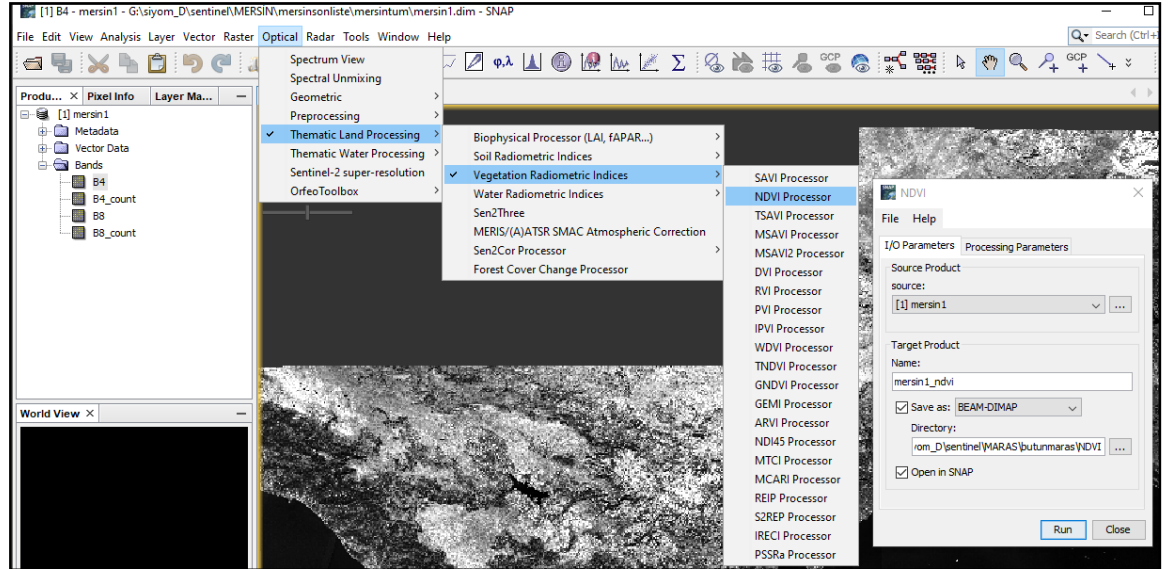
Yapılan işlemler sonucunda, Antalya, Mersin, Adana ve Kahramanmaraş illerini kapsayan OBM sınırları dahilindeki Sentinel-2 uydu görüntülerinin 4. Bandı (Kırmızı) ile 8. bandı (yakın kızılötesi - NIR) birleştirilerek entegre bir veri seti elde edilmiştir. Bu birleştirme, çalışma alanı genelinde homojen bir görüntü sunarak, analizlerin konumsal tutarlılığını sağlamıştır.



Şekil 16. SNAP programında “Band Multi-size Mosaic” komutu

2.4.5. NDVI Hesaplama

Her OBM için türetilmiş olan 4 ve 8 nolu bandları içeren birleştirilmiş görüntüler, bu aşamada kullanılmıştır. Bu görüntüler yardımıyla NDVI değerleri; SNAP programında “NDVI Processor” komutu yardımıyla hesaplatılmıştır (Şekil 17).



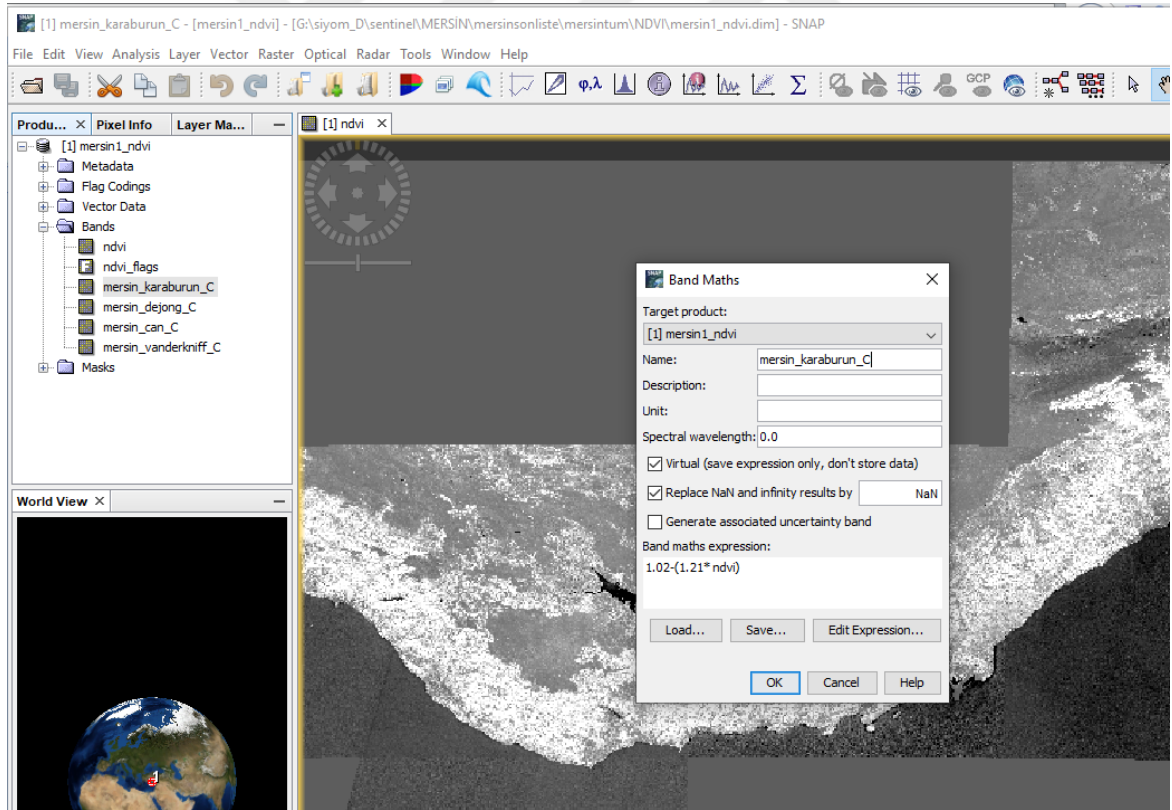
Şekil 17. SNAP programında “NDVI Processor” komutu

2.4.6. C Faktörünün Hesaplanması

C faktörü toprak erozyonunun tahmin edilmesinde kullanılan önemli bir parametredir. Bu parametre etkileyen bitki örtüsü faktörüne ait ölçümler zaman alıcı hemde maddi olarak yüksektir. Bunun yanında uzaktan algıma yöntemleri hem konumsal olarak daha etkili, daha az maliyetli, hızlı ve güncel veri alma noktasında fazlasıyla avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte DEMİS projesinde C faktörünü hesaplamamış olup bu CORINE C faktörü değerlerini kullanmışlardır (Tablo 5).

Hazırlanan bu tez çalışmasında ise; Sentinel-2 uydu görüntülerinde elde edilen NDVI değerinden 4 farklı formülle elde edilen C faktörü değerleri kullanılmıştır.

NDVI görüntüleri SNAP programına görüntüleme arayüzüne çağrılmış, sonrasında “Band Maths” komutuyla her bir denklem için NDVI değerleri yardımıyla C faktörü değerleri hesaplanmıştır (Şekil 18).



Şekil 18. SNAP programında “Band Maths” komutu

2.5. Örnekleme Alanı Verilerinin İşlenmesi

Amenajman Planı Programından (APP) elde edilen örnek alan verileri, Microsoft Access yazılımı kullanılarak her bir örnek alan için ayrı ayrı derlenmiş ve sonrasında Microsoft Excel'e aktarılmıştır. Excel ortamına aktarılan verilere, ilgili oldukları orman bölge müdürlüğü (OBM), orman işletme müdürlüğü (OİM) ve orman işletme şefliği (OİŞ) bilgileri eklenmiştir. Ardından her bir örnek alanın meşcere bileşenleri, yani ağaç sayısı (N), göğüs yüzeyi çapı (G) ve hacim (V) değerleri eklenmiştir. Eklenen bu veriler, hektar bazında genişletilmiştir. Sonrasında, düzenlenen Excel dosyası, ArcGIS yazılımına veri tabanı olarak kaydedilmiştir. Ek olarak, her bir örnek alanın bağlı bulunduğu bölme numaraları da veri setine dahil edilmiştir. Bu süreç, sahadan elde edilen verilerin CBS ile entegre edilmesine ve daha kapsamlı analizler yapılmasına olanak sağlamıştır.

3. BULGULAR

3.1. Genel Çıktılar

Bu çalışmada, toplam 1966 örnek alan incelenmiştir. Örnek alanlardaki minimum ağaç sayısı 25, maksimum ağaç sayısı ise 1875 olarak tespit edilmiştir. Genel ortalama ağaç sayısı 363'tür. Veriler, farklı yaş sınıfları, eğim grupları, bonitet, gelişme çağı, kapalılık ve bakı grupları temelinde analiz edilmiştir. Her bir kategori altında incelenen örnek alan sayıları, farklı grupların orman yapısındaki dağılımı ve ağaç varlığının dinamiklerini detaylandırmaktadır. Yaş sınıflarında, örnek alan başına minimum ağaç sayısı 25, maksimum ise 1875 olarak kaydedilmiştir. Ortalama ağaç sayısı yaş sınıfları arasında farklılık göstermektedir. En yüksek ortalama 523 ağaç/ha ile II. yaş sınıfında bulunurken, en düşük ortalama 256 ağaç/ha ile VI. ve VII. yaş sınıflarında gözlemlenmiştir. Genel olarak yaş ilerledikçe ağaç sayısında azalma eğilimi gözlemlenmiştir. Arazi eğimi, orman ekosistemlerinin yapısını ve ağaç yoğunluğunu doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. En fazla örnek alan, 715 alan ile 7. eğim grubunda bulunurken, en az örnek alan 1 alan ile 10. eğim grubunda yer almaktadır. Ortalama ağaç sayısı 1650 ağaç/ha ile 10. eğim grubunda en yüksek düzeye ulaşırken, en düşük ortalama 259 ağaç/ha ile 9. eğim grubunda gözlemlenmiştir. Bonitet, bir orman alanının üretkenliğini ve ağaç büyüme potansiyelini gösteren önemli bir parametredir. II. bonitet, 915 örnek alanla en yaygın grubu temsil etmekte olup, bu gruptaki ortalama ağaç sayısı 387 olarak tespit edilmiştir. III. Bonitet, 791 alanla ikinci sırada yer alırken, ortalama ağaç sayısı 335'tir. I. bonitet grubunda ise 360 ağaç/ha ortalamasıyla 260 örnek alan bulunmaktadır. Bu veriler, bonitet sınıfı yükseldikçe orman alanlarında ağaç yoğunluğunun artabileceğini göstermektedir. Bu çalışmada gelişme çağı "b", "c" ve "d" grupları altında incelenmiştir. 166 örnek alanla "b" gelişme çağı en yüksek ortalama ağaç sayısına (551) sahiptir. c çağı 176 alanla ve 381 ağaç/ha ortalamasıyla ikinci sırada yer almaktadır. d çağı ise 577 örnek alanla en geniş kapsamı oluşturmalarına rağmen, ortalama 216 ağaç/ha ile en düşük yoğunluğa sahiptir. 3 kapalılık 697 alanla en yüksek ortalama ağaç sayısına (545) sahiptir. 2 kapalılık 778 alanla en geniş kapsamı oluşturmakta olup, ortalama ağaç sayısı 315 olarak kaydedilmiştir. 1 kapalılık sınıfında ise 491 alanla 179 ağaç/ha ortalamasına sahiptir. Bu çalışmada bakı grupları gölgeli ve güneşli olarak iki ana kategoriye ayrılmıştır.

Güneşli alanlar, 1071 örnek alanla 349 ağaç/ha ortalamasına sahiptir. Gölge alanlar ise 895 örnek alanla ve 379 ağaç/ha ortalamasıyla daha yüksek yoğunluk göstermektedir (Tablo 7).

Tablo 7. Dikkate alınan değişken sınıflarına göre örnek alan sayı ve özellikleri (hektar değerleri)

Yaş Sınıfı	Örnek Alan Sayısı	Örnek Alanlardaki Minimum Ağaç Sayısı	Örnek Alanlardaki Maksimum Ağaç Sayısı	Örnek Alanlardaki Ortalama Ağaç Sayısı
I	30	125	975	452
II	306	88	1875	523
III	290	63	1650	498
IV	262	63	1050	335
V	401	50	1250	314
VI	451	25	1050	256
VII	123	50	850	256
VIII	65	75	950	356
IX	35	113	600	295
X	3	200	317	272
Toplam	1966	25	1875	363
Eğim Grupları				
1	6	350	1025	621
2	43	88	850	347
3	116	63	975	322
4	192	50	1275	374
5	357	63	1500	352
6	386	50	1400	389
7	715	25	1400	360
8	135	63	1875	341
9	15	63	483	259
10	1	1650	1650	1650
Toplam	1966	25	1875	363
Bonitet				
I	260	63	1400	360
II	915	25	1875	387
III	791	50	1500	335
Toplam	1966	25	1875	363
Gelişme Çağı				
b	166	125	1875	551
c	176	63	1050	381
d	577	50	725	216
Toplam	919	50	1875	308
Kapalılık				
1	491	25	567	179
2	778	50	1875	315
3	697	100	1650	545
Toplam	1966	25	1875	363
Bakı Grupları				
Gölge	895	25	1875	379
Güneşli	1071	50	1600	349
Toplam	1966	25	1875	363

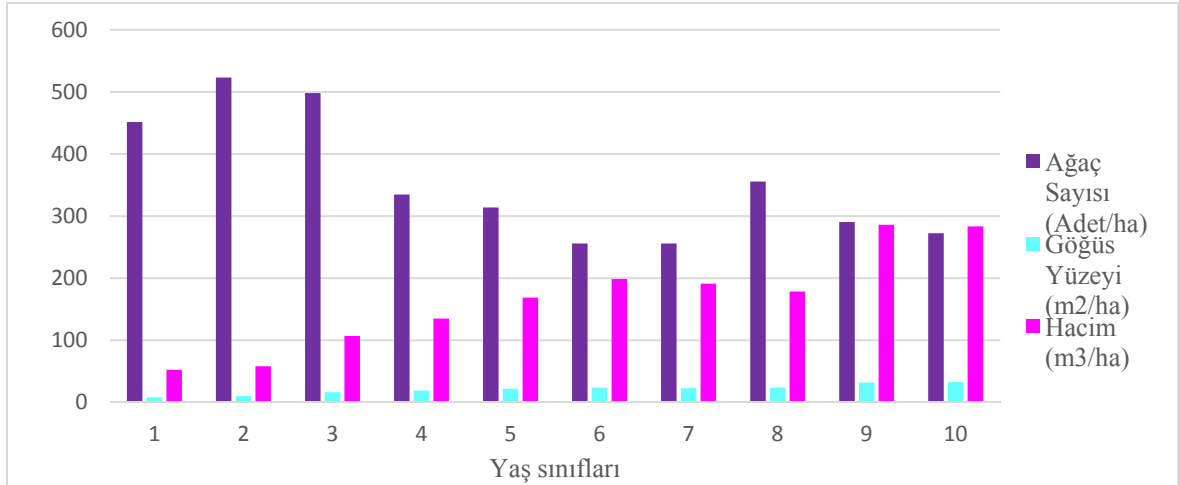
3.1.1. Yaş Sınıflarına Göre Meşcere Bileşenleri ve Toprak Kaybı Değerleri

Elde edilen bulgular yaş sınıfları kapsamında değerlendirildiğinde; I. yaş sınıfında 452 adet/ha olan ağaç sayısı, son yaş sınıfında (X. yaş sınıfı) 272 adet/ha olarak belirlenmiştir. En fazla ağaç sayısının 523 adet/ha ile II. yaş sınıfında olduğu anlaşılmaktadır. En az ağaç sayısı ise 256 adet/ha ile VI. ve VII. yaş sınıfında bulunmaktadır. Yaş sınıflarına göre ağaç sayısı dalgalı bir trend gösterse de genel olarak yaş sınıfları arttıkça ağaç sayısı azalmaktadır. En yüksek göğüs yüzeyi değeri 33 m²/ha ile son yaş sınıfında (X. yaş sınıfı) gözlemlenmekte olup, en düşük değer ise 8 m²/ha ile ilk yaş sınıfında bulunmaktadır. Yaş sınıfının ilerlemesiyle birlikte, göğüs yüzeyi artış göstermektedir. En yüksek hacim değeri 286 m³/ha ile IX. yaş sınıfında ve 283 m³/ha ile X. yaş sınıfında, en düşük hacim değeri ise 53 m³/ha ile ilk yaş sınıfında belirlenmiştir. Hacim değerleri, genel olarak I. yaş sınıfından X. yaş sınıfına kadar artarak devam etmektedir (Tablo 8) (Şekil 19a).

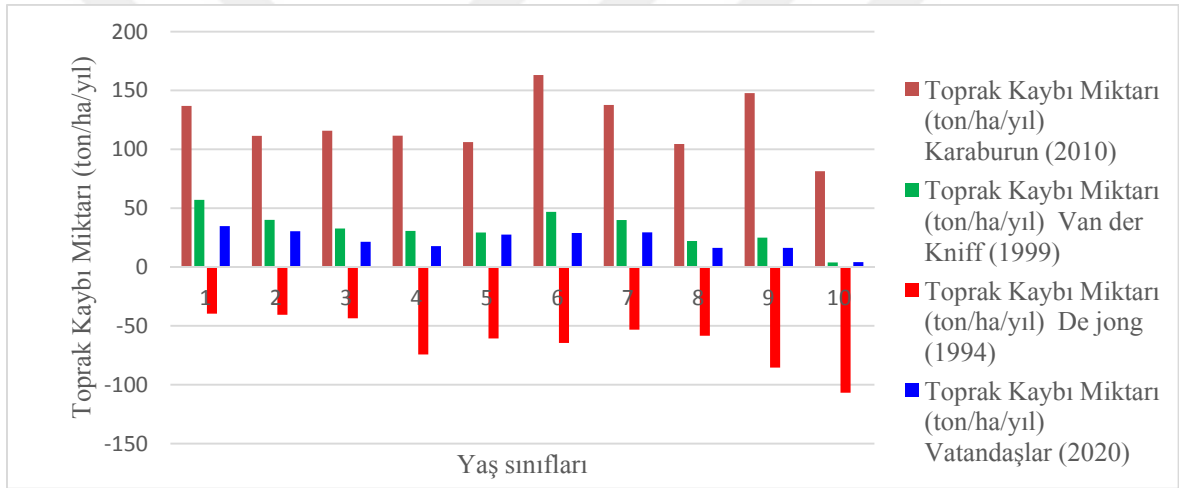
Toprak kaybı miktarları incelendiğinde, Vatandaşlar (2020) yöntemine göre hesaplanan değerlerde genel bir azalış trendi görülmekte birlikte, yaş sınıflarına göre dalgalanmalar bulunmakta, VII. yaş sınıfından VIII. yaş sınıfında kadar geçen sürede belirgin düşüş dikkat çekmektedir. De Jong (1994)'e göre hesaplanan toprak kaybı değerleri, diğer çalışmalardan farklı olarak negatif değerlere sahip olduğu görülmektedir. Van der Knijff (1999) yöntemiyle hesaplanan toprak kaybı değerleri, I. yaş sınıfından (57 ton/ha/yıl) başlayarak V. yaş sınıfına kadar (29 ton/ha/yıl) düşmekte, ancak VI yaş sınıfında (47 ton/ha/yıl) yeniden artış göstererek ve X. yaş sınıfına kadar tekrar azalarak 4 ton/ha/yıl'a düşmektedir. Karaburun (2010) yöntemi için en yüksek toprak kaybı miktarı 163 ton/ha/yıl ile VI. yaş sınıfında gözlenmiş, en az değer ise 81 ton/ha/yıl ile X. yaş sınıfında belirlenmiştir (Tablo 8) (Şekil 19b).

Tablo 8. Yaş sınıflarına göre meşcere bileşenleri, toprak kaybı ve önlenen toprak kaybı miktarları

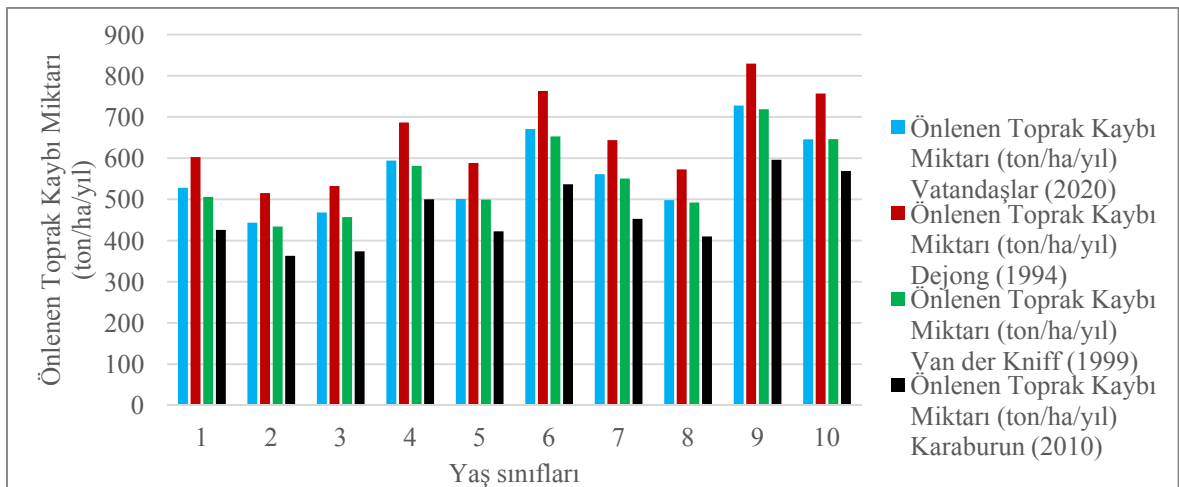
Yaş Sınıfları	N (Adet/ha)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)	TK (ton/ha/yıl) Vatandaşlar (2020)	TK (ton/ha/yıl) De Jong (1994)	TK (ton/ha/yıl) Van der Kniff (1999)	TK (ton/ha/yıl) Karaburun (2010)	ÖTK (ton/ha/yıl) Vatandaşlar (2020)	ÖTK (ton/ha/yıl) De Jong (1994)	ÖTK (ton/ha/yıl) Van der Kniff (1999)	ÖTK (ton/ha/yıl) Karaburun (2010)
I	452	8	53	35	-40	57	137	528	602	506	426
II	523	10	58	30	-41	40	111	443	515	434	363
III	498	17	107	21	-44	33	116	468	532	457	374
IV	335	19	135	18	-74	31	112	594	686	581	500
V	314	22	169	28	-61	29	106	501	588	499	422
VI	256	24	199	29	-65	47	163	671	763	653	536
VII	256	23	191	29	-53	40	138	561	644	551	453
VIII	356	24	179	16	-58	22	105	498	573	492	410
IX	290	32	286	16	-85	25	148	728	829	719	596
X	272	33	283	4	-107	4	81	646	757	646	569
Ortalama	362	20	147	26	-57	36	125	547	630	536	447



Şekil 19a. Yaş sınıflarına göre meşcere bileşenleri



Şekil 19b. Yaş sınıflarına göre toprak kaybı toprak kaybı miktarları



Şekil 19c. Yaş sınıflarına göre önlenen toprak kaybı miktarları

Önlenen toprak kaybı miktarları incelendiğinde ise; yaş sınıfı arttıkça önlenen toprak kaybı miktarlarında genel olarak artış trendi görülmektedir. Vatandaşlar (2020) yöntemiyle hesaplanan değerler dalgalı bir yapı izlemesine rağmen, yaş sınıflarına göre artış göstermektedir. Meşcerelerin önlediği toprak kaybı, I. yaş sınıfında 528 ton/ha/yıl ve X. yaş sınıfında 646 ton/ha/yıl olarak hesaplanmış, en yüksek değere ise 728 ton/ha/yıl ile IX. yaş sınıfında ulaştığı ortaya konmuştur. Van der Kniff (1999) ve Vatandaşlar (2020) değerleri ise benzer trend göstermektedir. Yaş sınıflarına göre dalgalanma ile birlikte, yaş sınıflarının ilerlemesiyle birlikte artış gözlemlenmektedir. Van der Kniff (1999)'a göre; I. yaş sınıfında 506 ton/ha/yıl ve X. yaş sınıfında 646 ton/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. Karaburun (2010) yöntemi kullanılarak en düşük önlenen toprak kaybı miktarı 363 ton/ha/yıl ile III. yaş sınıfında tespit edilmiş olup, en yüksek değer ise 596 ton/ha/yıl ile IX. yaş sınıfında hesaplanmıştır. I. yaş sınıfında 426 ton/ha/yıl ve X. yaş sınıfında 569 ton/ha/yıl önlenen toprak kaybı değerlerine ulaşılmıştır (Tablo 8) (Şekil 19c).

3.1.2. Gelişme Çağlarına Göre Meşcere Bileşenleri ve Toprak Kaybı Değerleri

Gelişme çağlarına göre meşcere bileşenleri incelendiğinde, ağaç sayısının (N) genel olarak gelişme çağları boyunca azalma eğilimi gösterdiği, aynı gelişme çağında kapalılık derecesi arttıkça, yani 1 kapalılıktan 3 kapalılığa doğru, ağaç sayısında bir artış olduğu ortaya konmuştur. ab3 gelişme çağında ağaç sayısı 490 adet/ha iken, d3 gelişme çağında bu değer 308 adet/ha olarak hesaplanmıştır. Göğüs yüzeyi (G) ise genel olarak gelişme çağı ilerledikçe artış göstermektedir. ab1 gelişme çağında göğüs yüzeyi 2 m²/ha iken, en yüksek değer d3 gelişme çağında 37 m²/ha olarak belirlenmiştir. Ayrıca, 1 kapalı meşcerelerden 3 kapalı meşcerelere doğru bir artış eğilimi görülmektedir. Hacim (V) değerleri de göğüs yüzeyi gibi gelişme çağları boyunca artış göstermekte olup, kapalılık derecesi arttıkça, yani 1 kapalıdan 3 kapalıya doğru, hacim değeri paralel bir artış eğilimi sergilemektedir. En düşük hacim 8 m³/ha ile ab1 çağında olup, e1 çağında ise 239 m³/ha'dır. En yüksek hacim değeri d3 çağında 321 m³/ha olarak hesaplanmıştır (Tablo 9) (Şekil 20a).

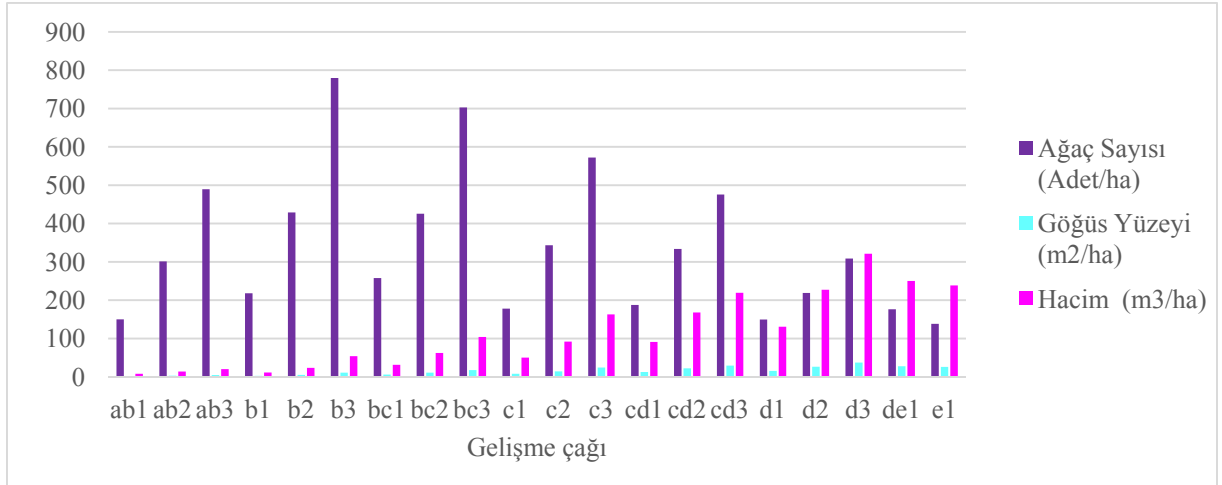
Gelişme çağlarına göre toprak kaybı miktarları incelendiğinde, Vatandaşlar (2020) yöntemine göre ortaya konan değerler farklı gelişme çağlarında inişli çıkışlı bir trend sergilemiştir. 1 kapalılarda yüksek, 3 kapalılarda meşcerelerde ise düşük toprak kaybı miktarı görülmektedir. Vatandaşlar (2020) yöntemine göre hesaplanan toprak kaybı

miktarları ab2 çağında 29 ton/ha/yıl, e1 çağında ise 12 ton/ha/yıl'dur. En yüksek toprak kaybı miktarı 1 kapalı, 2 kapalı ve 3 kapalılarda sırasıyla d1 çağında 42 ton/ha/yıl, ab2, c2 ve d2 çağlarında 29 ton/ha/yıl ve ab3 çağında 36 ton/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. En yüksek değer d1 çağında 42 ton/ha/yıl olarak belirlenmiştir. De Jong (1994) yöntemine göre hesaplanan değerler, diğer çalışmalardan farklı olarak negatif değerler göstermektedir. Van der Kniff (1999) yönteminde dalgalı bir yapı olduğu anlaşılmaktadır. Burada 1 kapalı ve 2 kapalılarda yüksek olurken 3 kapalı meşcerelerde daha düşük bir toprak kaybı miktarları görülmektedir. Karaburun (2010) yöntemine göre hesaplanan toprak kaybı miktarları benzer şekilde dalgalı yapıda olup, en yüksek ab2 çağında 185ton/ha/yıl, en düşük ise e1 çağında 61ton/ha/yıl olarak hesaplanmıştır (Tablo 9) (Şekil 20b).

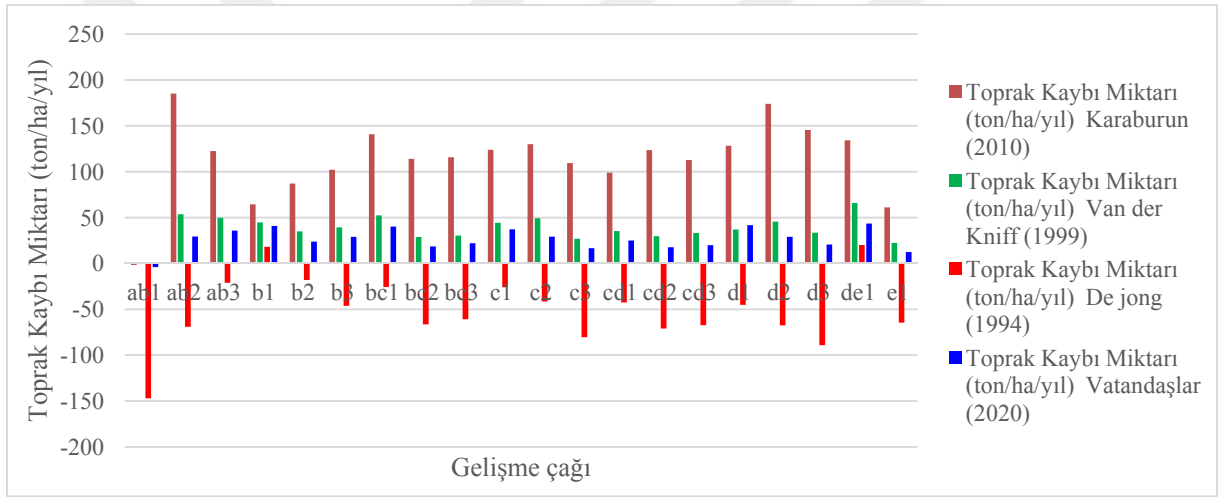
Gelişme çağlarına göre önlenen toprak kaybı miktarları incelendiğinde, her bir yöntemin genel olarak değişim trendleri birbirine benzerlik göstermektedir. Vatandaşlar (2020) yöntemine göre hesaplanan değerler dalgalı trend göstermekle birlikte, b1 çağında hızlı bir azalış ve sonrasında genel olarak artış göstermektedir. Bu yöntemde ab1 çağında 621 ton/ha/yıl ve e1 çağında 454 ton/ha/yıl göstermiş olup, en yüksek değer ise 770 ton/ha/yıl ab2 gelişme çağında görülmüştür. De Jong (1994) verisinde ise önlenen toprak kaybı ab1 çağında 764 ton/ha/yıl ile yüksek bir seviyede başlamakta, ab2'de 869 ton/ha/yıl ile en yüksek değere ulaşmaktadır. Ancak ab3 ve b1 çağlarında belirgin düşüşler yaşanmakta, özellikle b1 çağında 82 ton/ha/yıl gibi oldukça düşük seviyelere ulaşılmaktadır. Bu yöneme göre hesaplanan değerlerde ab2'den sonra dalgalanma ve genel bir azalma eğilimi dikkat çekmektedir. Van der Kniff (1999) yöntemine göre hesaplanan önlenen toprak kaybı; ab1 gelişme çağında 617 ton/ha/yıl ile başlayarak ab2'de 746 ton/ha/yıl seviyesine çıkmaktadır. Ancak, ab3 gelişme çağında bu değer 389 ton/ha/yıl'a gerilemekte ve b1 gelişme çağında ise en düşük seviye olan 56 ton/ha/yıl'a kadar inmektedir. Bu yöneme göre hesaplanan değerler gelişim çağları ilerledikçe dalgalı biçimde artmakta ve azalmakta, özellikle d2 gelişme çağında 699 ton/ha/yıl ile yeniden yüksek seviyelere ulaşılmaktadır. Karaburun (2010) yöntemine göre hesaplanan önlenen toprak kaybı değeri; ab1 çağında 619 ton/ha/yıl ve e1 çağında ise 405 ton/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. En düşük değer b1 çağında 36 ton/ha/yıl ve en yüksek değer ise 623 ton/ha/yıl olarak d3 çağında ortaya konmuştur. 1 kapalı meşcerelerde düşük, 3 kapalı meşcerelerde ise yüksek önlenen toprak kaybı değerleri gözlemlenmiştir (Tablo 9) (Şekil 20c).

Tablo 9. Gelişme çağlarına göre meşcere bileşenleri, toprak kaybı ve önlenen toprak kaybı miktarları

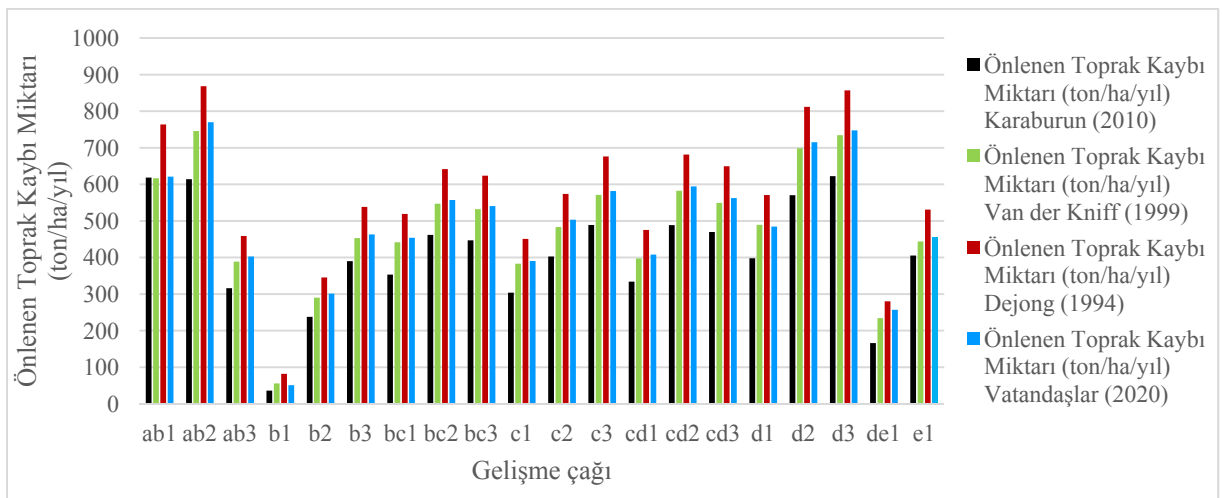
Gelişme Çağları	N (Adet/ha)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)	TK (ton/ha/yıl) Vatandaşlar (2020)	TK (ton/ha/yıl) De Jong (1994)	TK (ton/ha/yıl) Van der Kniff (1999)	TK (ton/ha/yıl) Karaburun (2010)	ÖTK (ton/ha/yıl) Vatandaşlar (2020)	ÖTK (ton/ha/yıl) De Jong (1994)	ÖTK (ton/ha/yıl) Van der Kniff (1999)	ÖTK (ton/ha/yıl) Karaburun (2010)
ab1	150	2	8	-4	-147	0	-2	621	764	617	619
ab2	301	3	14	29	-69	54	185	770	869	746	614
ab3	490	5	20	36	-21	50	122	403	459	389	316
b1	218	3	11	41	18	45	64	51	82	56	36
b2	429	5	23	24	-18	35	87	301	345	290	238
b3	780	11	54	29	-46	39	102	463	539	453	390
bc1	258	6	31	40	-26	52	141	454	519	441	353
bc2	425	11	62	18	-66	29	114	557	642	547	462
bc3	703	18	104	22	-61	30	116	541	624	532	447
c1	178	8	50	37	-26	44	124	390	451	383	304
c2	343	14	92	29	-41	49	130	504	574	483	403
c3	572	24	163	17	-80	27	109	582	676	571	489
cd1	188	13	91	25	-43	35	99	408	475	398	334
cd2	334	22	168	18	-71	30	124	594	682	582	489
cd3	476	29	219	20	-67	33	113	563	650	549	470
d1	149	16	131	42	-45	37	128	485	571	489	398
d2	219	27	227	29	-68	46	174	715	812	699	570
d3	308	37	321	21	-89	34	146	747	857	735	623
de1	176	28	250	43	20	66	134	257	280	234	166
e1	138	26	239	12	-65	22	61	454	531	444	405
Ortalama	362	20	147	26	-57	36	125	547	630	536	447



Şekil 20a. Gelişme çağılarına göre meşcere bileşenleri



Şekil 20b. Gelişme çağılarına göre toprak kaybı miktarları



Şekil 20c. Gelişme çağılarına göre önlenen toprak kaybı miktarları

- Tam Kapalı Meşcerelerde Gelişme Çağlarına Göre Meşcere Bileşenleri ve Toprak Kaybı Değerleri

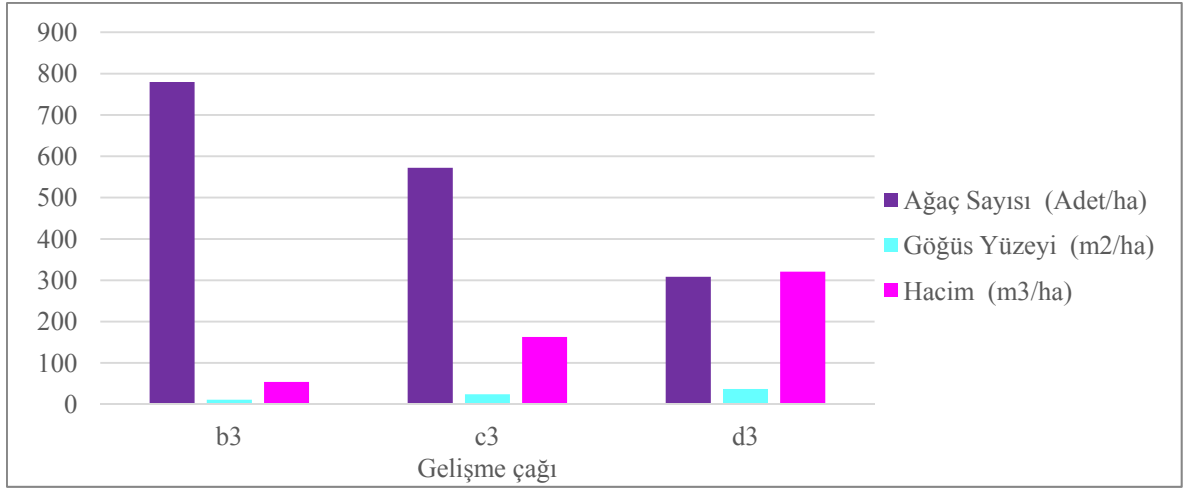
Tam kapalı meşcereler erozyonu önleme konusunda 1 ve 2 kapalı ormanlara göre daha yüksek etkiye sahip meşcere yapılarına sahiptir. Hacim (V) ve göğüs yüzeyi (G), meşcerenin tepe çatısının toprağı örtme oranı ($>70\%$) gibi bileşenlerin birim alanda toprak kaybını önlemede en önemli kriterler olduğu kabul edilmektedir. Dolayısıyla tam kapalı meşcerelerin toprak korumada referans olabileceği düşünülmektedir, tam kapalı meşcereler ayrıca analiz edilmiştir. Tam kapalı meşcereler irdelendiğinde; ağaç sayısının gelişme çağları boyunca azalma eğilimi gösterdiği, b3 gelişme çağında 780 adet/ha olan ağaç sayısının, d3 çağında 308 adet/ha'a düştüğü belirlenmiştir. Göğüs yüzeyi (G) ise gelişme çağları ilerledikçe belirgin artış göstermektedir. b3 çağında 11 m²/ha olan göğüs yüzeyi, c3 çağında 24 m²/ha'e ve d3 çağında 37 m²/ha'e yükselmiştir. Hacim (V) değerleri, b3'te 54 m³/ha iken, d3 çağında 321 m³/ha'a kadar çıkmıştır (Tablo 10) (Şekil 21a).

Toprak kaybı miktarları incelendiğinde, Vatandaşlar (2020) yöntemine göre; b3 çağında 29 ton/ha/yıl, c3 çağında 17 ton/ha/yıl ve d3 çağında 21 ton/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. De Jong (1994) yöntemine göre tüm gelişme çağlarında negatif değerler raporlandığı görülmektedir. Van der Kniff (1999) yöntemi ise, gelişme çağları boyunca değişken bir eğilim göstererek b3, c3 ve d3 çağlarında sırasıyla 39 ton/ha/yıl, 27 ton/ha/yıl ve 34 ton/ha/yıl değerleri elde edilmiştir. Karaburun (2010) yöntemine göre, gelişme çağları ilerledikçe önlenen toprak kaybı değerlerinde artış ortaya konmuş ve b3 çağında 102 ton/ha/yıl, c3 çağında 109 ton/ha/yıl ve d3 çağında 146 ton/ha/yıl ile en yüksek değere ulaşılmıştır (Tablo 10) (Şekil 21b).

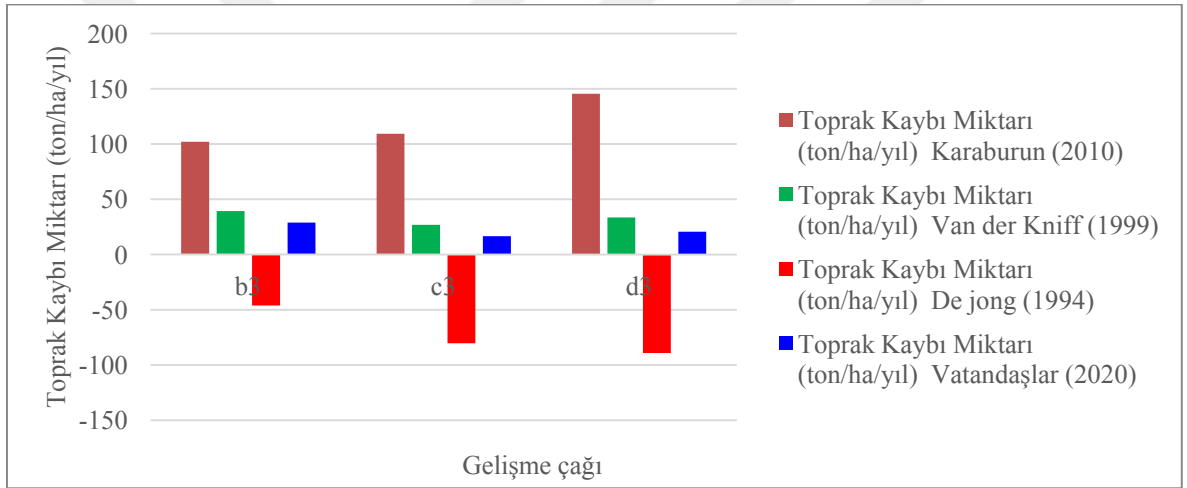
Önlenen toprak kaybı miktarları incelendiğinde ise; bütün yöntemlerde düzenli bir artış saptanmıştır. Vatandaşlar (2020) yöntemine göre; b3 çağında 463 ton/ha/yıl ve d3 çağında ise 747 ton/ha/yıl önlenen toprak kaybı hesaplanmıştır. Van der Kniff (1999) yöntemine göre ise; b3 çağında 463 ton/ha/yıl ve d3 çağında 735 ton/ha/yıl elde edilmiştir. Karaburun (2010) yöntemine göre b3 çağında 390 ton/ha/yıl, c3 çağında 489 ton/ha/yıl ve d3 çağında 623 ton/ha/yıl olduğu ortaya konmuştur. Genel olarak, tüm yöntemlerde önlenen toprak kaybı dikkate alındığında, d3 çağında zirve değerlere ulaşıldığı ve b3 çağından itibaren sürekli artış eğilimi sergilediği belirlenmiştir (Tablo 10) (Şekil 21c).

Tablo 10. Tam kapalı meşcerelerde gelişme çağlarına (b3, c3, d3) göre meşcere parametreleri, toprak kaybı ve önlenen toprak kaybı miktarları

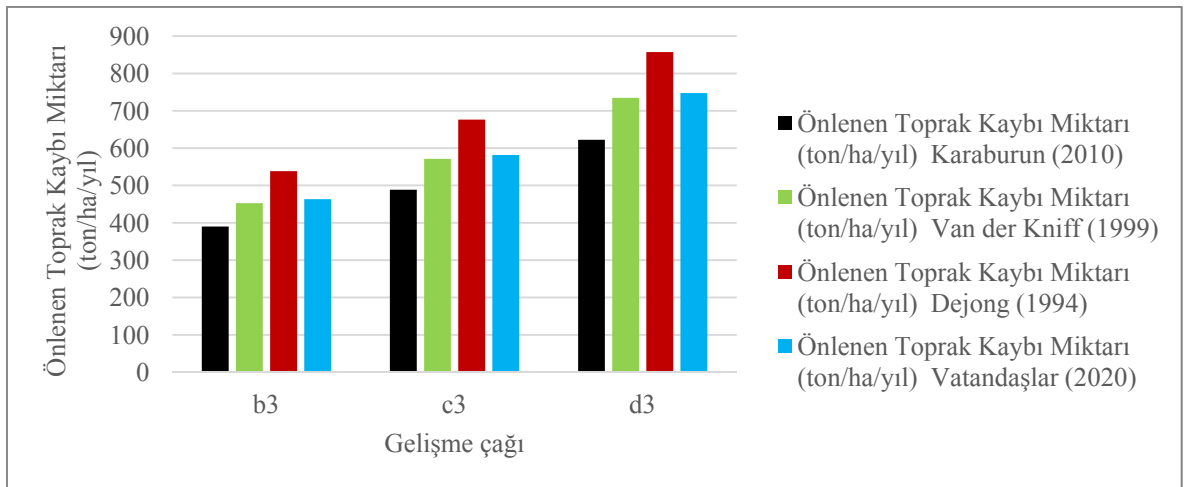
Gelişme Çağı	N (Adet/ha)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)	TK (ton/ha/ yıl) Vatandaşlar (2020)	TK (ton/ha /yıl) De jong (1994)	TK (ton/ha/yıl) Van der Kniff (1999)	TK (ton/ha/ yıl) Karaburun (2010)	ÖTK (ton/ha/yıl) Vatandaşlar (2020)	ÖTK (ton/ha/yıl) De Jong (1994)	ÖTK (ton/ha/yıl) Van der Kniff (1999)	ÖTK (ton/ha/yıl) Karaburun (2010)
b3	780	11	54	29	-46	39	102	463	539	453	390
c3	572	24	163	17	-80	27	109	582	676	571	489
d3	308	37	321	21	-89	34	146	747	857	735	623
Ortalama	499	27	211	22	-75	33	125	631	728	619	528



Şekil 21a. Gelişme çağlarına (b3, c3, d3) göre meşcere bileşenlerinin özellikleri



Şekil 21b. Gelişme çağlarına (b3, c3, d3) göre toprak kaybı miktarları



Şekil 21c. Gelişme çağlarına (b3, c3, d3) göre önlenen toprak kaybı miktarları

3.1.3. Eğim Gruplarına Göre Meşcere Bileşenleri ve Toprak Kaybı Değerleri

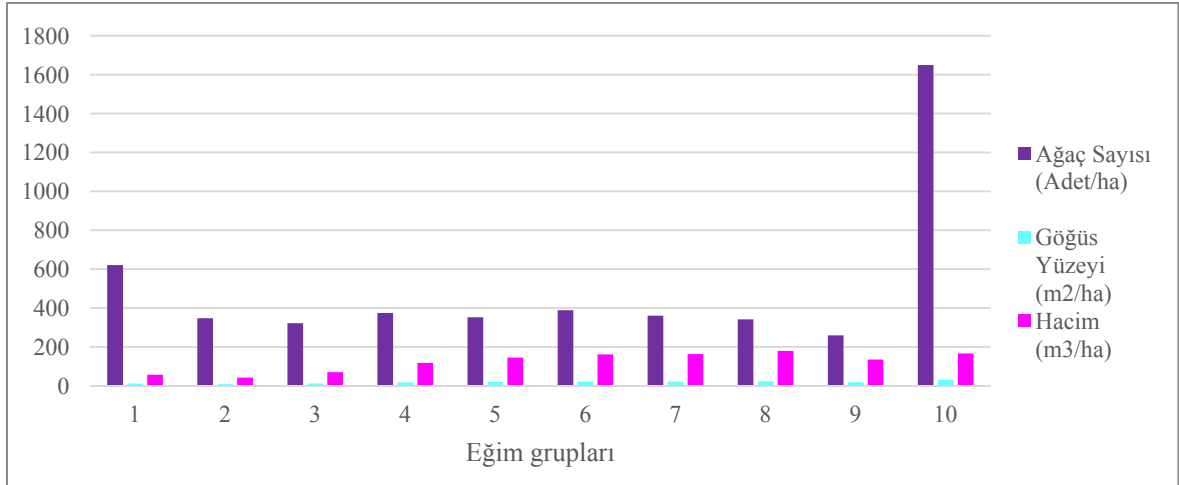
Eğim gruplarına göre meşcere bileşenleri incelendiğinde; 1. eğim grubunda 621 ağaç/ha ile başlayan ağaç sayısı, 9. eğim grubuna kadar azalan bir trend göstermiş, bununla birlikte en yüksek değer 10. eğim grubunda gözlemlenmiştir. Sonuç analiz edildiğinde, 10. eğim grubuna sadece bir meşcere düştüğü görülmüş (400 m^2 'de 66 adet) ve bu değer yüksek çıkmıştır. Göğüs yüzeyi kapsamında ise; 1. eğim grubunda $11 \text{ m}^2/\text{ha}$ olan değer, 10. eğim grubunda $31 \text{ m}^2/\text{ha}$ 'a kadar yükselmiş ve en yüksek göğüs yüzeyi de son yaş sınıfında kaydedilmiştir. Hacim değerleri açısından değerlendirildiğinde; 1. eğim grubunda $56 \text{ m}^3/\text{ha}$ olan başlangıç değeri, 10. eğim grubunda $166 \text{ m}^3/\text{ha}$ 'ya çıkmıştır. Bununla birlikte en yüksek hacim değeri, VIII. eğim grubunda $179 \text{ m}^3/\text{ha}$ olarak hesaplanmıştır (Tablo 11) (Şekil 22a).

Eğim gruplarına göre toprak kaybı miktarları incelendiğinde; Vatandaşlar (2020) yöntemine göre 1. eğim grubunda 2 ton/ha/yıl ve 2. eğim grubunda 19 ton/ha/yıl olarak hesaplanan toprak kaybı miktarı, 9. eğim grubunda 10 ton/ha/yıl ve 10. eğim grubunda 5 ton/ha/yıl olarak ortaya konmuştur. Bu yöntemle en yüksek toprak kaybı değeri, 36 ton/ha/yıl ile 8. eğim grubunda ortaya çıkmıştır. De Jong (1994) yöntemine göre sonuçların hepsi negatif çıkmıştır. Van der Kniff (1999) yöntemine göre; toprak kaybı 1. eğim grubunda 4 ton/ha/yıl ve 2. eğim grubunda 18 ton/ha/yıl , 9. eğim grubunda 29 ton/ha/yıl ve 10. eğim grubunda 3 ton/ha/yıl olarak hesaplanmış ve en yüksek değer ise 60 ton/ha/yıl ile 8. eğim grubunda belirlenmiştir. Karaburun (2010) yöntemine göre; 1. eğim grubunda toprak kaybı 12 ton/ha/yıl iken, 10. eğim grubunda 137 ton/ha/yıl olarak hesaplanmış ve en yüksek değer 218 ton/ha/yıl ile 8. eğim grubunda tespit edilmiştir. 8. eğim grubuna kadar düzenli bir artış, 9. eğim grubunda düşüş gözlemlenmiştir (Tablo 11) (Şekil 22b).

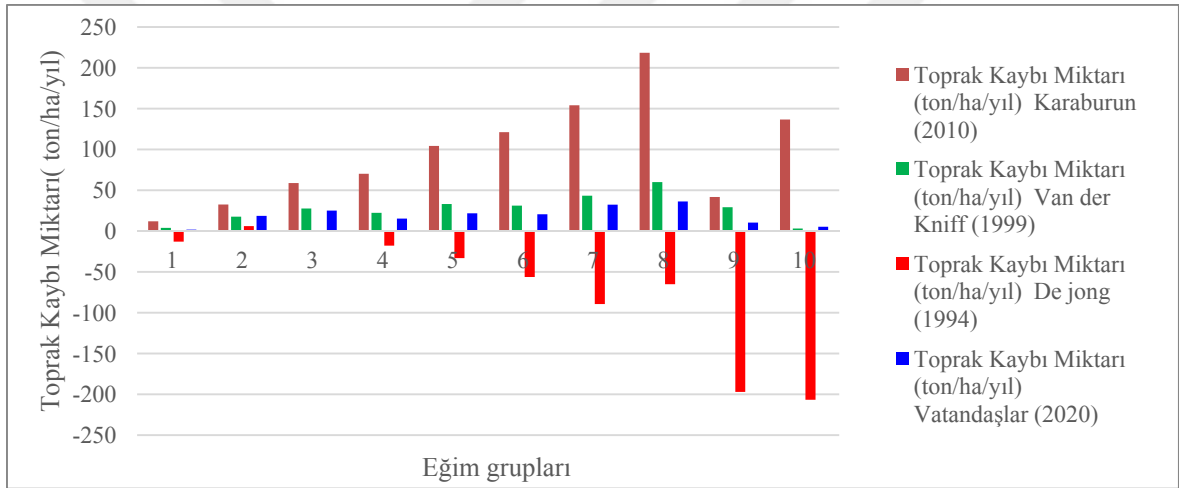
Önlenen toprak kaybı miktarları irdelendiğinde; Vatandaşlar (2020) yöntemine göre en yüksek değer 1213 ton/ha/yıl ile 10. eğim grubunda, en düşük değer ise 47 ton/ha/yıl ile 2. eğim grubunda hesaplanmıştır. De Jong (1994) yönteminde benzer şekilde, en yüksek önlenen toprak kaybı 1425 ton/ha/yıl ile 10. eğim grubunda, en düşük ise 60 ton/ha/yıl ile 2. eğim grubunda belirlenmiştir. Van der Kniff (1999) yöntemine göre önlenen toprak kaybı miktarı en yüksek 1215 ton/ha/yıl ile 10. eğim grubunda, en düşük ise 48 ton/ha/yıl ile 2. eğim grubunda gözlenmiştir (Tablo 11) (Şekil 22c).

Tablo 11. Eğim gruplarına göre meşcere bileşenleri, toprak kaybı ve önlenen toprak kaybı miktarları

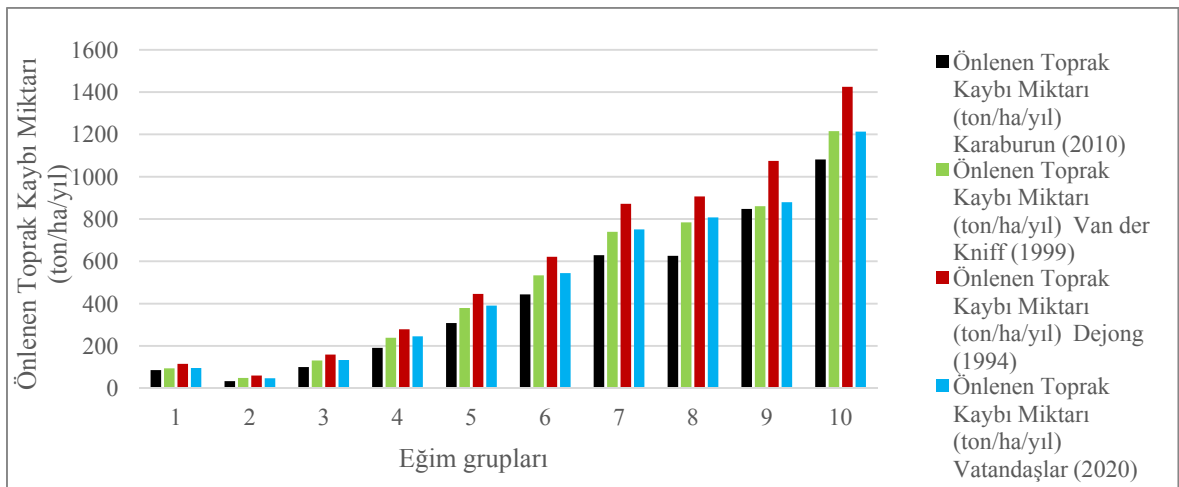
Eğim Grupları	N (Adet/ha)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)	TK (ton/ha/yıl) Vatandaşlar (2020)	TK (ton/ha/yıl) De Jong (1994)	TK (ton/ha/yıl) Van der Kniff (1999)	TK (ton/ha/yıl) Karaburun (2010)	ÖTK (ton/ha/yıl) Vatandaşlar (2020)	ÖTK (ton/ha/yıl) De Jong (1994)	ÖTK (ton/ha/yıl) Van der Kniff (1999)	ÖTK (ton/ha/yıl) Karaburun (2010)
1	621	11	56	2	-13	4	12	96	115	94	86
2	347	8	42	19	6	18	33	47	60	48	33
3	322	11	70	25	0	28	59	134	159	131	100
4	374	17	118	15	-18	22	70	246	279	239	191
5	352	19	144	22	-33	33	104	391	446	379	308
6	388	21	161	21	-56	31	121	544	621	534	444
7	360	21	162	32	-89	43	154	750	872	740	629
8	341	22	179	36	-65	60	218	808	907	784	626
9	259	18	135	10	-197	29	42	879	1075	860	848
10	1650	31	166	5	-207	3	137	1213	1425	1215	1081
Ortalama	362	20	147	26	-57	36	125	547	630	536	447



Şekil 22a. Eğim gruplarına göre meşcere bileşenlerinin özellikleri



Şekil 22b. Eğim gruplarına göre toprak kaybı miktarları



Şekil 22c. Eğim gruplarına göre önlenen toprak kaybı miktarları

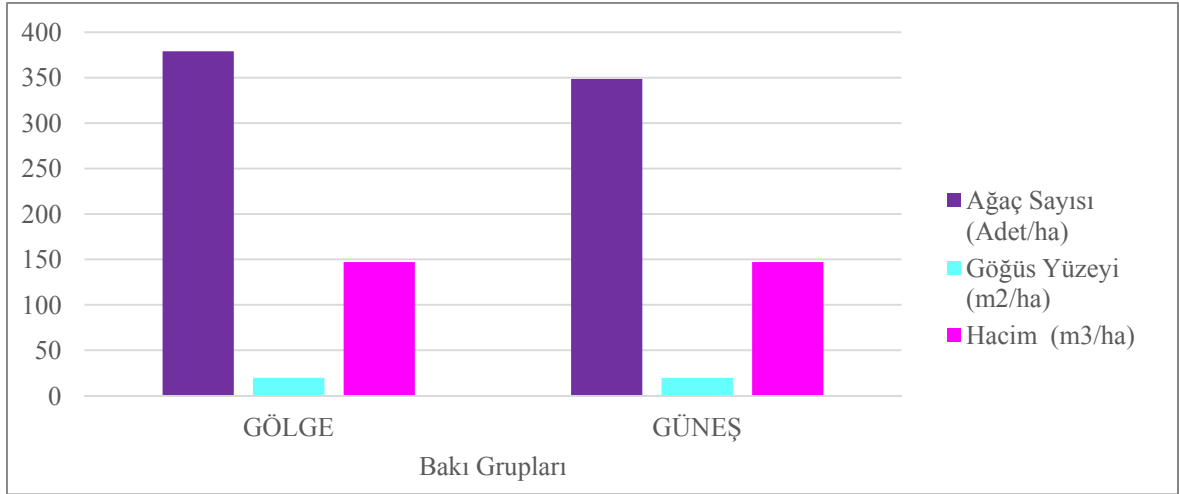
Karaburun (2010) yönteminde de önceki yöntemlerde olduğu gibi, en yüksek önlenebilir toprak kaybı 1081 ton/ha/yıl ile 10. eğim grubunda, en düşük ise 33 ton/ha/yıl ile 2. eğim grubunda kaydedilmiştir. Genel olarak, tüm çalışmalar önlenebilir toprak kaybının eğimin artmasıyla birlikte artan bir eğilim gösterdiğini, özellikle 10. eğim grubunda önlenebilir toprak kaybı miktarları zirveye ulaştığını göstermektedir (Tablo 11) (Şekil 22c).

3.1.4. Bakı Sınıflarına Göre Meşcere Bileşenleri ve Toprak Kaybı Değerleri

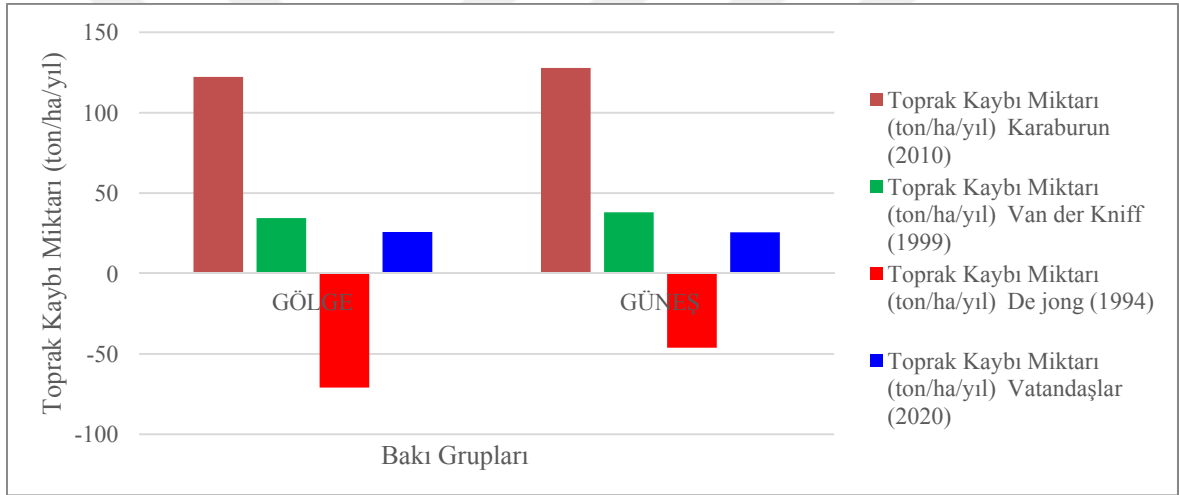
Bakı gruplarına göre meşcere bileşenleri incelendiğinde; ağaç sayısı bakımından gölgeli bakılarda 379 ağaç/ha, güneşli bakılarda ise 349 ağaç/ha bulunduğu ve gölgeli bakılarda ağaç yoğunluğunun daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Gölgeli bakılarda göğüs yüzeyi 20 m²/ha ve güneşli bakılarda 19 m²/ha olarak hesaplanmıştır. Hacim değerleri her iki durumda da aynı değerde bulunmuştur. Toprak kaybı miktarına bakıldığında, Vatandaşlar (2020) yöntemine göre hem gölgeli bakılarda hem de güneşli bakılarda toprak kaybı miktarı 26 ton/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. Van der Kniff (1999) ve Karaburun (2010) yöntemlerine göre ise gölgeli bakılarda daha düşük toprak kaybı olduğu belirlenmiştir. Önlenebilir toprak kaybı miktarları dikkate alındığında ise; Vatandaşlar (2020), De Jong (1994), Van der Kniff (1999) ve Karaburun (2010) yöntemlerine göre, gölgeli bakılarda güneşli bakılara kıyasla daha fazla toprak kaybı önlendiği anlaşılmaktadır. Örneğin Vatandaşlar (2020) yöntemine göre, gölgeli bakılarda 600 ton/ha/yıl önlenebilir toprak kaybı hesaplanırken, güneşli bakılarda bu değer 502 ton/ha/yıl'dır (Tablo 12) (Şekil 23a,b,c).

Tablo 12. Bakı gruplarına göre meşcere bileşenleri, toprak kaybı ve önlenen toprak kaybı miktarları

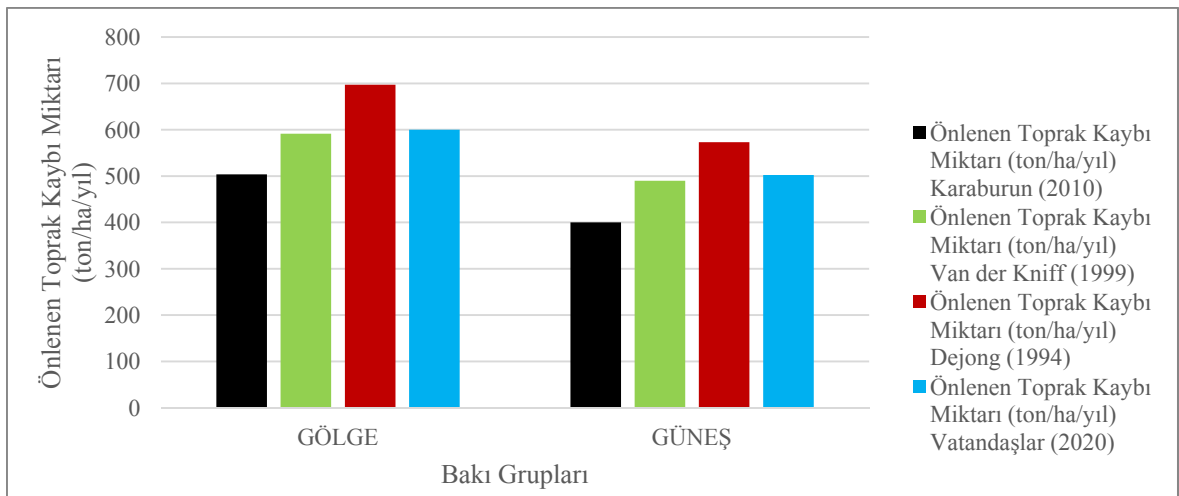
	N (Adet/ha)	G (m ² /ha)	Hacim (m ³ /ha)	TK (ton/ha/yıl) Vatandaşlar (2020)	TK (ton/ha/yıl) De Jong (1994)	TK (ton/ha/yıl) Van der Kniff (1999)	TK (ton/ha/yıl) Karaburun (2010)	ÖTK (ton/ha/yıl) Vatandaşlar (2020)	ÖTK (ton/ha/yıl) De Jong (1994)	ÖTK (ton/ha/yıl) Van der Kniff (1999)	ÖTK (ton/ha/yıl) Karaburun (2010)
Gölge	379	20	147	26	-71	34	122	600	697	592	504
Güneşli	349	19	147	26	-46	38	128	502	573	490	400
Ortalama	362	20	147	26	-57	36	125	547	630	536	447



Şekil 23a. Bakı gruplarına göre meşcere bileşenlerinin özellikleri



Şekil 23b. Bakı gruplarına göre toprak kaybı miktarları



Şekil 23c. Bakı gruplarına göre önlenen toprak kaybı miktarları

3.1.5. Toprak Kaybı Yöntemlerinin Analizi

Toprak kaybı hesaplama yöntemlerinden hangisinin kullanılacağı ya da temel alınacağını belirlemek amacıyla öncelikle verilerin normal dağılım gösterip göstermediği test edilmiştir. Normal dağılım testinin temel nedeni, parametrik test koşullarının varsayımına dayanmasıdır. Bu varsayımın sağlanıp sağlanmadığını kontrol etmek, uygulanan testlerin geçerliliğini ve güvenilirliğini sağlamaktadır. Bunun için SPSS programında Analyze>Correlate>Bivariate komutuyla Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testleri kullanılmıştır. Örneklem sayısı 50 ve altındaysa Shapiro-Wilk Testi'ne, 50 üzerindeyse Kolmogorov-Smirnov Testi'ne bakılması önerilmektedir.

Normalite testi sonucunda; önlenen toprak kaybı değerleri, tüm yöntemlerde anlamlılık düzeyi (Sig.) 0,05'den küçük, yani test sonucu verilerin normal dağılmadığı anlaşılmaktadır (Tablo 13).

Tablo 13. Normal dağılım test sonuçları

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Vatandaşlar (2020)	,102	1966	,000	,919	1966	,000
De Jong (1994)	,106	1966	,000	,920	1966	,000
Karaburun (2010)	,115	1966	,000	,909	1966	,000
VanderKniff (1999)	,108	1966	,000	,918	1966	,000
a. Lilliefors Significance Correction						

Spearman korelasyonu, normal dağılıma uymayan ve sıralı ya da kategorik veri tipleriyle çalışırken, değişkenler arasındaki ilişkinin incelenmesinde ideal bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Bu yöntem, verilerin dağılım şekline duyarlı olmaması nedeniyle Pearson korelasyonuna alternatif olarak kullanılmaktadır. Spearman korelasyonu, değişkenler arasındaki monotonik ilişkiyi değerlendirmekte ve veriler sıralandıktan sonra hesaplanmaktadır. Dolayısıyla, verilerin sıralı ya da kategorik olduğu durumlarda bile güvenilir sonuçlar sağlamaktadır. Bu bağlamda, özellikle normallik varsayımının sağlanmadığı veri setlerinde, Spearman korelasyonu kullanılarak, değişkenler arasındaki ilişkiler anlamlı bir şekilde ortaya konulabilmektedir (Spearman, 1904)

C bitki faktörü hesabında kullanılan yöntemler araştırılmış, öne çıkan dördü altılık olarak seçilmiştir. Ancak tez çalışmasında bir tanesinin tercih edilerek sonraki analizlerde kullanması ve referans verilerinin seçilen yönteme göre üretilmesi tercih edilmiştir.

De Jong (1994) yöntemine göre hesaplanan veriler neredeyse tümüyle eksi değerler vermesi nedeniyle yorumlamada sorunlara yol açacağı için kullanılmamıştır. Vatandaşlar (2020) yöntemine göre üretilen formülün Karadeniz Bölgesi için geliştirilmiş olması ve bu bölgede kuraklık faktörünün düşük olması nedeniyle de bu yöntem tercih edilmemiştir. Van der Kniff (1999) ve De Jong (1994) farklı ülkelerde geliştirildiği için, ülkemiz ormanlarında kullanımı daha uygun görülen Karaburun (2010) yöntemi bu çalışmada altlık olarak seçilmiştir.

3.2. Karaburun (2010) Yöntemi ile Yaş Sınıflarına Göre Veri Analizi

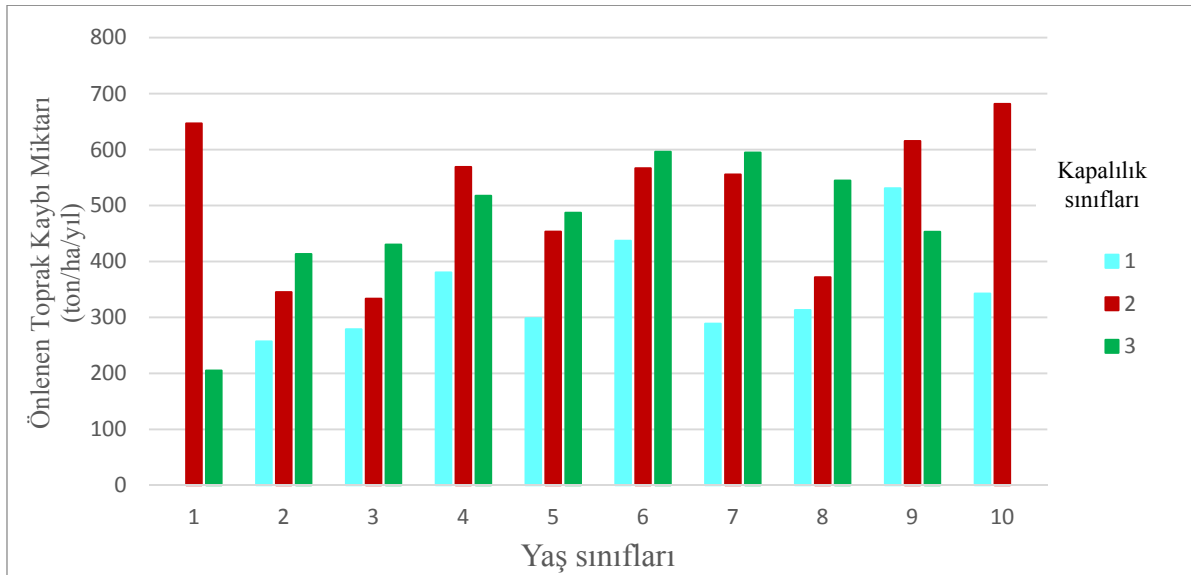
Toprak koruma işletme sınıfında yer alan meşcerelerin ağaç sayısı, göğüs yüzeyi, hacim gibi öne çıkan meşcere bileşenleri ile bu meşcerelerde meydana gelen toprak kaybı ve önlenen toprak kayı değerlerinin nasıl değiştiği, hangi değerlere ulaştığı ya da eşik değerleri hakkında bilgi sahibi olabilmek için; elde edilen veriler, yaş sınıfları dikkate alınarak; kapalılık, bonitet ve gelişme çağları dikkate alınarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

3.2.1. Yaş Sınıfı- Kapalılık Analizi

Yaş sınıflarına göre kapalılık sınıfları incelendiğinde; ağaç sayısının I. yaş sınıfında ve 2 kapalı meşcerelerde 428 adet/ha ve 3 kapalı meşcerelerde 475 adet/ha olduğu belirlenmiştir. Son yaş sınıfında ise 1 kapalı meşcerelerde 200 adet/ha, 2 kapalı meşcerelerde 309 adet/ha hesaplanmıştır. Onuncu yaş sınıfında 3 kapalılıkta meşcere bulunmamakta, ağaç sayısı IX. yaş sınıfında 600 adet/ha'a ulaşmaktadır. Yaş sınıflarına göre 1 kapalı meşcerelerin dalgalı bir trend izlediği görülmektedir. Yaş sınıfları ve kapalılıklara göre göğüs yüzeyi değerleri incelendiğinde; 1 kapalı için I. yaş sınıfında göğüs yüzeyi hesaplanmamış olup, II. yaş sınıfında 5 m²/ha olarak belirlenmiştir. X. yaş sınıfında bu değer 16 m²/ha'ya kadar yükselmiştir. En yüksek göğüs yüzeyi değerine, 1 kapalı meşcerelerde, IX. yaş sınıfında 21 m²/ha olarak ulaşılmıştır. I. yaş sınıfında 2 kapalı meşcerelerde göğüs yüzeyi 6 m²/ha iken, X. yaş sınıfında bu değer ve en yüksek değer olan 41 m²/ha'a ulaşmıştır. Göğüs yüzeyi, I. yaş sınıfında 3 kapalı meşcerelerde 10 m²/ha ile başlamış, en yüksek değerine IX. yaş sınıfında 38 m²/ha ile ulaşmıştır. Yaş sınıflarına ve kapalılık sınıflarına hacim (V) değerleri incelendiğinde; 1 kapalılık için I. yaş sınıfında hacim değeri hesaplanmamış, 2 kapalı meşcerelerde 27 m³/ha ve X. yaş sınıfında 134

m³/ha değeri elde edilmiştir. 1 kapalı meşcerelerde en yüksek hacim değeri ise IX. yaş sınıfında 192 m³/ha olarak kaydedilmiştir. 2 kapalı meşcerelerde, I. yaş sınıfında hacim değeri 37 m³/ha iken, X. yaş sınıfında bu değer 358 m³/ha'a ulaşmış ve en yüksek hacim değeri de bu yaş sınıfında gözlemlenmiştir. 3 kapalı meşcerelerde ise I. yaş sınıfında hacim değeri 68 m³/ha olarak ortaya konmuş, X. yaş sınıfında veri hesaplanmamış, IX. yaş sınıf değeri 301 m³/ha olarak en yüksek hacim değeri belirlenmiştir.

Yaş sınıflarına ve kapalılık değerlerine göre önlenen toprak kaybı miktarları karşılaştırıldığında, her bir kapalılık sınıfı için belirgin farklılıklar gözlemlenmektedir. 1 kapalılık için I. yaş sınıfında değer hesaplanmamış, II. yaş sınıfı değeri 257 ton/ha/yıl belirlenmiştir. X. yaş sınıfında ise 343 ton/ha/yıl olarak ortaya konmuş, en yüksek değer ise IX. yaş sınıfında 531 ton/ha/yıl olarak belirlenmiştir. Önlenen toprak kaybı, 2 kapalılıkta, I. yaş sınıfında 647 ton/ha/yıl, X. yaş sınıfında ise 682 ton/ha/yıl hesaplanmıştır. En yüksek değer X. yaş sınıfında 682 ton/ha/yıl olarak belirlenmiştir. Aynı parametre, 3 kapalı meşcerelerde I. yaş sınıfında 205 ton/ha/yıl hesaplanırken, X. yaş sınıfında veri bulunmamaktadır. IX. yaş sınıfı değeri 453 ton/ha/yıl belirlenmiştir. En yüksek önlenen toprak kaybı değeri 3 kapalı meşcerelerde VI. yaş sınıfında 596 ton/ha/yıl olarak ortaya konmuştur. Genel olarak, yaş sınıfları ilerledikçe toprak kaybı önleme potansiyeli artmakta, ancak bazı yaş sınıflarında (özellikle X. yaş sınıfı) belirgin bir düşüş görülmektedir (Şekil 24) (Tablo 14).



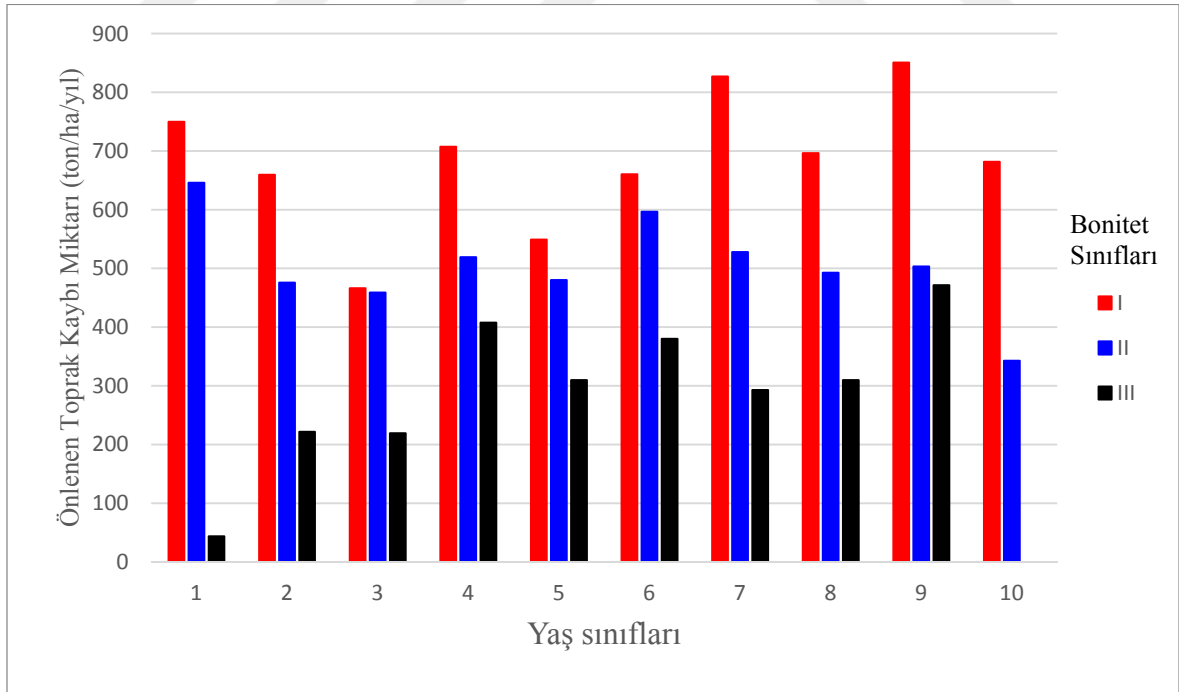
Şekil 24. Yaş ve kapalılık sınıflarına göre önlenen toprak kaybı

Tablo 14. Yaş ve kapalılık sınıflarına göre meşcere bileşenleri ve toprak kaybı

	N (adet/ha)			G (m ² /ha)			V (m ³ /ha)			ÖTK (ton/ha/yıl)			Ortalama N (adet/ha)	Ortalama G (m ² /ha)	Ortalama V (m ³ /ha)	Ortalama ÖTK (ton/ha/yıl)
Yaş Sınıfları	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
I	-	428	475	-	6	10	-	37	68	-	647	205	452	8	53	426
II	241	398	717	5	8	14	27	41	82	257	345	413	523	10	58	363
III	225	398	653	9	14	21	59	85	137	279	334	430	498	17	107	374
IV	171	323	478	12	17	27	83	117	196	381	569	517	335	19	135	500
V	177	303	430	14	22	29	99	167	224	299	453	487	314	22	169	422
VI	149	250	392	14	24	34	121	202	283	437	567	596	256	24	199	536
VII	155	278	470	18	25	31	151	209	248	289	556	595	256	23	191	453
VIII	171	306	569	15	26	26	109	207	165	313	372	545	356	24	179	410
IX	204	298	600	21	34	38	192	306	301	531	615	453	290	32	286	596
X	200	309	-	16	41	-	134	358	-	343	682	-	272	33	283	569
Ortalama	179	315	545	13	20	24	97	152	177	343	485	479	362	20	147	447

3.2.2. Yaş Sınıfı– Bonitet Analizi

Yaş sınıflarına göre bonitet sınıfları ve önlenen erozyon miktarları birlikte incelendiğinde; I. bonitet ve I. yaş sınıfında 750 ton/ha/yıl olarak başlayan değer, X. yaş sınıfında 682 ton/ha/yıl'a düşmüş, ancak en yüksek değer IX. yaş sınıfında 851 ton/ha/yıl olarak kaydedilmiştir. II. bonitet itibari ile I. yaş sınıfında 646 ton/ha/yıl olan değer, X. yaş sınıfında 343 ton/ha/yıl'a gerilemiş ve en yüksek değer VI. yaş sınıfında 597 ton/ha/yıl olarak ortaya konmuştur. III. bonitet için I. yaş sınıfında 44 ton/ha/yıl olarak oldukça düşük bir değer olarak, IX. yaş sınıfında en yüksek değer olan 472 ton/ha/yıl'a ulaşılmıştır. Genel olarak, yaş sınıfları ilerledikçe bonitet değerlerinde bazı dalgalanmalar gözlemlense de, özellikle IX. yaş sınıfında en yüksek seviyelere ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, erozyonun önlenmesi açısından IX. yaş sınıfının daha verimli olduğunu göstermektedir. Ancak, yaş sınıfları arasında genel bir artış ya da azalış trendinden bahsedilememekte, her bonitette farklı yaş sınıflarında en yüksek değerlere ulaşıldığı anlaşılmaktadır. Genel olarak I. bonitetin, toprak kaybı önlemede en yüksek değerlere sahip olduğu, sonrasında sırasıyla II. ve III. bonitetin geldiği anlaşılmaktadır (Şekil 25) (Tablo 15).



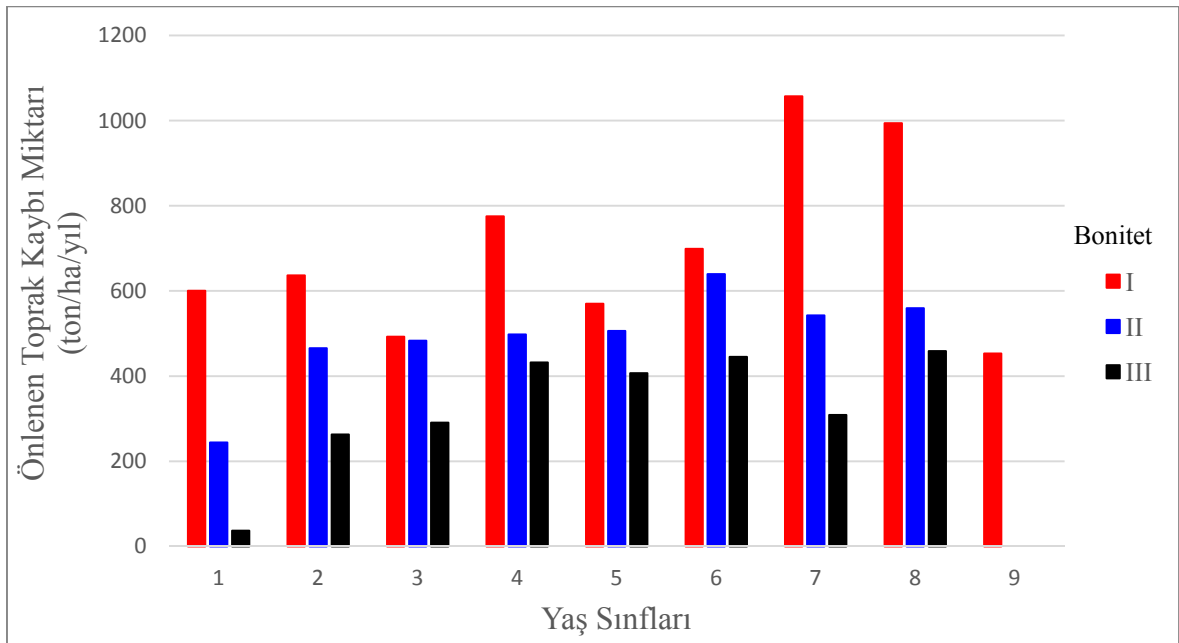
Şekil 25. Yaş ve bonitet sınıflarına göre önlenen toprak kaybı

Tablo 15. Yaş ve bonitet sınıflarına göre meşcere bileşenleri ve önlenen toprak kaybı

	N (adet/ha)			G (m ² /ha)			V (m ³ /ha)			ÖTK (ton/ha/yıl)			Ortalama N (adet/ha)	Ortalama G (m ² /ha)	Ortalama V (m ³ /ha)	Ortalama ÖTK (ton/ha/yıl)
Yaş Sınıfları	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III				
I	397	436	495	12	9	6	102	56	25	750	646	44	452	8	53	426
II	626	603	441	14	13	7	88	78	37	660	476	222	523	10	58	363
III	434	526	473	22	18	13	161	120	73	466	459	219	498	17	107	374
IV	356	350	310	24	20	17	180	138	116	707	519	408	335	19	135	500
V	343	348	263	28	24	18	226	188	127	549	480	310	314	22	169	422
VI	276	253	251	27	24	21	243	208	163	661	597	380	256	24	199	536
VII	300	263	238	29	24	21	247	204	166	827	528	293	256	23	191	453
VIII	278	390	342	23	26	23	188	203	160	696	493	310	356	24	179	410
IX	322	287	252	34	30	34	290	272	316	851	503	472	290	32	286	596
X	309	200	-	41	16	-	358	134	-	682	343	-	272	33	283	569
Ortalama	360	387	334	25	21	16	205	161	112	647	516	303	362	20	147	447

- Tam Kapalı Meşcerelerde Yaş Sınıfı-Bonitet Analizi

Tam kapalı (kapalılık>%70) meşcerelerde yaş ve bonitet sınıfları birlikte değerlendirildiğinde; en yüksek önlenen toprak kaybı miktarına VII. yaş sınıfında, I. bonitet için 1057 ton/ha/yıl ile ulaşıldığı görülmektedir. Aynı yaş sınıfında II. bonitet için 543 ton/ha/yıl, III. bonitet için ise 309 ton/ha/yıl kaydedilmiştir. Buna karşılık, en düşük erozyon önleme miktarı I. yaş sınıfında, III. bonitet için 37 ton/ha/yıl olarak belirlenmiştir. Aynı yaş sınıfında I. bonitet için bu değer 601 ton/ha/yıl, II. bonitet için ise 244 ton/ha/yıl olmuştur. Yaş sınıfları ilerledikçe önlenen toprak kaybı miktarında genel bir artış gözlemlenmekte, ancak VII. yaş sınıfından sonra bir azalma meydana gelmektedir. Özellikle VIII. yaş sınıfında, I. bonitet için önlenen erozyon miktarı 994 ton/ha/yıl'a, II. bonitet için 560 ton/ha/yıl'a, III. bonitet için ise 459 ton/ha/yıl'a düşmüştür. Bu azalmanın, VII. yaş sınıfından sonra tüm bonitet sınıflarında başladığı görülmektedir. Özellikle I. bonitetteki azalma daha hızlıdır. VII. yaş sınıfında 1057 ton/ha/yıl olan değer, VIII. yaş sınıfında 994 ton/ha/yıl'a gerilemiştir. Aynı şekilde, II. bonitette de azalma gözlenmiş ve önlenen toprak kaybı miktarı VII. yaş sınıfından VIII. yaş sınıfına geçerken 543 ton/ha/yıl'dan 560 ton/ha/yıl'a gerilemiştir. Tam kapalı (kapalılık>%70) meşcerelerde I. bonitetteki meşcereler toprak kaybını en yüksek seviyede önlemektedir (Tablo 16) (Şekil 26).



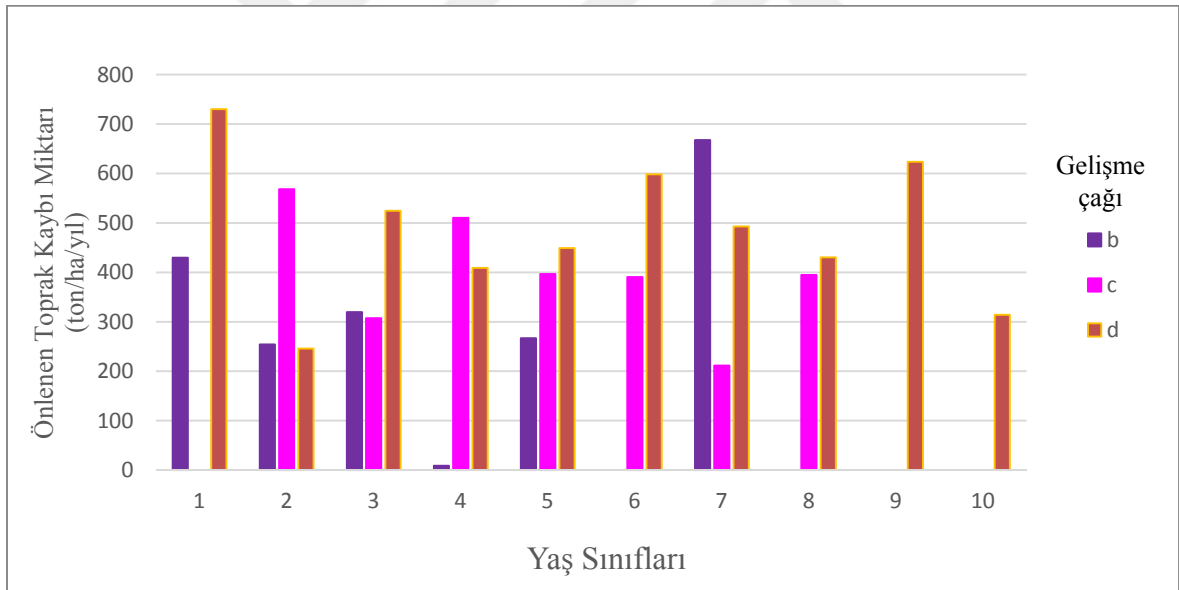
Şekil 26. Tam kapalı meşcerelerde yaş ve bonitet sınıflarına göre önlenen toprak kaybı

Tablo 16. Tam kapalı meşcerelerde yaş ve bonitet sınıflarına göre meşcere bileşenleri ve önlenen toprak kaybı

	N (adet/ha)			G (m ² /ha)			V (m ³ /ha)			ÖTK (ton/ha/yıl)			Ortalama N (adet/ha)	Ortalama G (m ² /ha)	Ortalama V (m ³ /ha)	Ortalama ÖTK (ton/ha/yıl)
Yaş Sınıfları	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III				
I	367	541	483	18	12	6	182	68	26	601	244	37	475	10	68	205
II	821	738	654	18	15	11	112	92	57	637	466	263	717	14	82	413
III	536	649	712	25	21	19	183	139	111	493	483	291	653	21	137	430
IV	464	482	477	33	26	26	252	187	185	775	498	432	478	27	196	517
V	397	471	386	33	31	23	272	240	172	570	506	407	430	29	224	487
VI	395	386	399	40	34	31	358	287	222	699	640	445	392	34	283	596
VII	407	457	528	41	27	29	359	210	202	1057	543	309	470	31	248	595
VIII	500	638	480	22	29	21	160	205	109	994	560	459	569	26	165	545
IX	600	-	-	38	-	-	301	-	-	453	-	-	600	38	301	453
Ortalama	493	566	535	31	25	20	250	180	136	645	511	345	545	24	177	479

3.2.3. Yaş Sınıfı-Gelişme Çağı Analizi

Yaş sınıfları ve gelişme çağlarına göre önlenen toprak kaybı miktarları irdelendiğinde; b çağında I. yaş sınıfında 430 ton/ha/yıl, VII. yaş sınıfında 668 ton/ha/yıl olarak belirlenmiştir. En yüksek değer de yine VII. yaş sınıfında 668 ton/ha/yıl olarak, en düşük değer ise IV. yaş sınıfında 9 ton/ha/yıl olarak belirlenmiştir. c gelişme çağında ve II. yaş sınıfındaki meşcerelerde 568 ton/ha/yıl, VIII. yaş sınıfında 395 ton/ha/yıl toprak kaybı önlenmektedir. Bu çağda en yüksek değer II. yaş sınıfında 568 ton/ha/yıl, en düşük değer ise VII. yaş sınıfında 212 ton/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. d çağında, I. yaş sınıfında 730 ton/ha/yıl, X. yaş sınıfında 314 ton/ha/yıl olarak belirlenmiştir. En yüksek değer I. yaş sınıfında 730 ton/ha/yıl toprak kaybı önlenmekte, en düşük değer II. yaş sınıfında 246 ton/ha/yıl olarak ortaya çıkmaktadır. Genel olarak, d gelişme çağında en yüksek düzeyde toprak kaybı önlenmektedir (Şekil 27) (Tablo 17).



Şekil 27. Yaş sınıfları ve göre gelişme çağlarına göre önlenen toprak kaybı

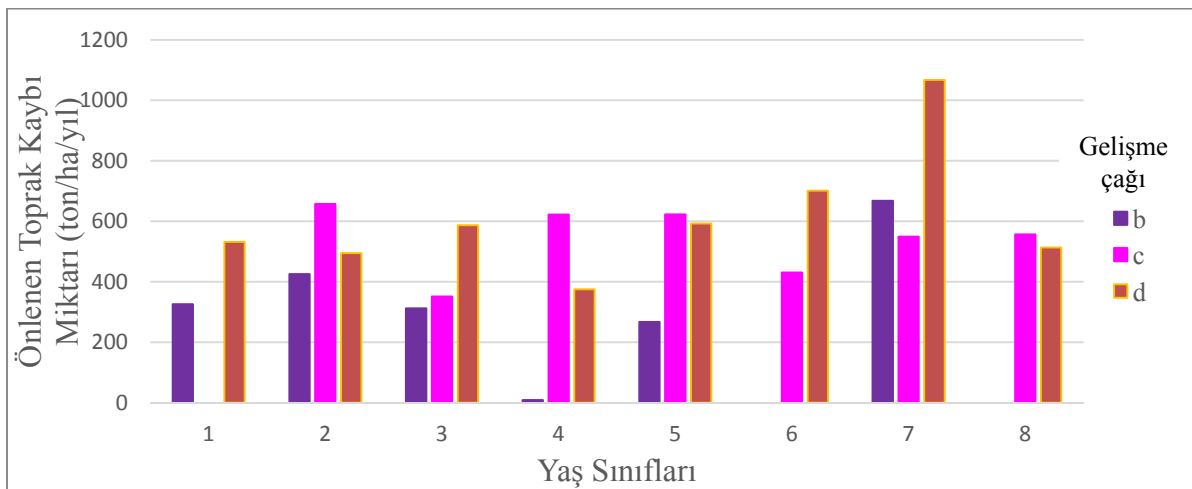
Tablo 17. Yaş sınıfları ve gelişme çağlarına göre meşcere bileşenleri ve önlenen toprak kaybı

	N (adet/ha)			G (m ² /ha)			Hacim (m ³ /ha)			ÖTK (ton/ha/yıl)			Ortalama N (adet/ha)	Ortalama G (m ² /ha)	Ortalama V (m ³ /ha)	Ortalama ÖTK (ton/ha/yıl)
Yaş Sınıfları	b	c	d	b	c	d	b	c	d	b	c	d				
I	542	-	146	6	-	37	28	-	376	430	-	730	489	10	74	470
II	538	319	286	7	13	25	33	84	198	254	568	246	513	8	43	275
III	604	412	272	9	17	33	49	115	280	320	307	524	432	17	122	335
IV	625	351	233	8	15	22	25	98	181	9	510	409	304	18	132	463
V	858	331	212	12	15	25	58	92	203	267	397	449	237	23	188	440
VI	-	426	210	-	18	26	-	121	222	-	390	598	219	25	218	589
VII	375	421	190	5	20	24	33	134	208	668	212	493	207	24	201	478
VIII	-	479	235	-	22	23	-	127	192	-	395	430	285	23	179	423
IX	-	-	270	-	-	32	-	-	286	-	-	624	270	32	286	624
1X	-	-	250	-	-	31	-	-	264	-	-	314	250	31	264	314
Ortalama	551	381	216	7	16	25	35	106	217	276	407	526	308	20	163	458

- Tam Kapalı Meşcerelerde Yaş Sınıfı - Gelişme Çağı Analizi

Tam kapalı (kapalılık>%70) meşcerelerde yaş sınıfları ve gelişme çağları önlenen toprak kaybı kapsamında incelendiğinde; genellikle d gelişme çağının en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. VII. yaş sınıfında d gelişme çağında önlenen toprak kaybı miktarı 1068 ton/ha/yıl ile en yüksek seviyesine ulaşmaktadır. c gelişme çağında ve II. yaş sınıfında 657 ton/ha/yıl ve b gelişme çağında VII. yaş sınıfında 668 ton/ha/yıl izlemektedir. En düşük önlenen toprak kaybı miktarı ise b sınıfında IV. yaş sınıfında 9 ton/ha/yıl olarak kaydedilmiştir. Yaş sınıfı ilerledikçe bazı gelişme çağlarında belirgin artışlar (örneğin, d sınıfında VII. yaşta 1068 ton/ha/yıl) gözlenirken, diğerlerinde dalgalanmalar görülmektedir. Ağaç sayısı yaş ilerledikçe genel olarak azalma eğilimindedir. b sınıfında ağaç sayısı I. yaş sınıfında 570 adet/ha iken, d çağında VIII. yaş sınıfında 700 adet/ha'a ulaşmaktadır. Göğüs yüzeyi, yaşla birlikte genellikle artış göstermekte ve bunun yanında gelişme çağlarına göre değişiklik gözlemlenmektedir. Örneğin, c gelişme çağında göğüs yüzeyi II. yaş sınıfında 18 m²/ha iken, d sınıfında VIII. Yaş sınıfında 48 m²/ha'a kadar çıkmaktadır. Hacim değerleri de benzer bir eğilim sergileyerek, d çağındaki meşcerelerde en yüksek değerlere ulaşmaktadır. d sınıfında VIII. yaş sınıfında hacim 381 m³/ha'a yükselmektedir (Şekil 28) (Tablo 18).

Yaş sınıfları ve gelişme çağları birlikte ele alındığında, tam kapalı meşcerelerde önlenen toprak kaybı miktarları genel olarak artış trendi göstermektedir. I. yaş sınıfında b gelişme çağında ortalama 390 ton/ha/yıl olan bu değer, c gelişme çağında 489 ton/ha/yıl'a ulaşmakta ve d gelişme çağında ise 623 ton/ha/yıl ile zirveye çıkmaktadır.



Şekil 28. Tam kapalı meşcerelerde yaş sınıfları ve gelişme çağlarına göre önlenen toprak kaybı

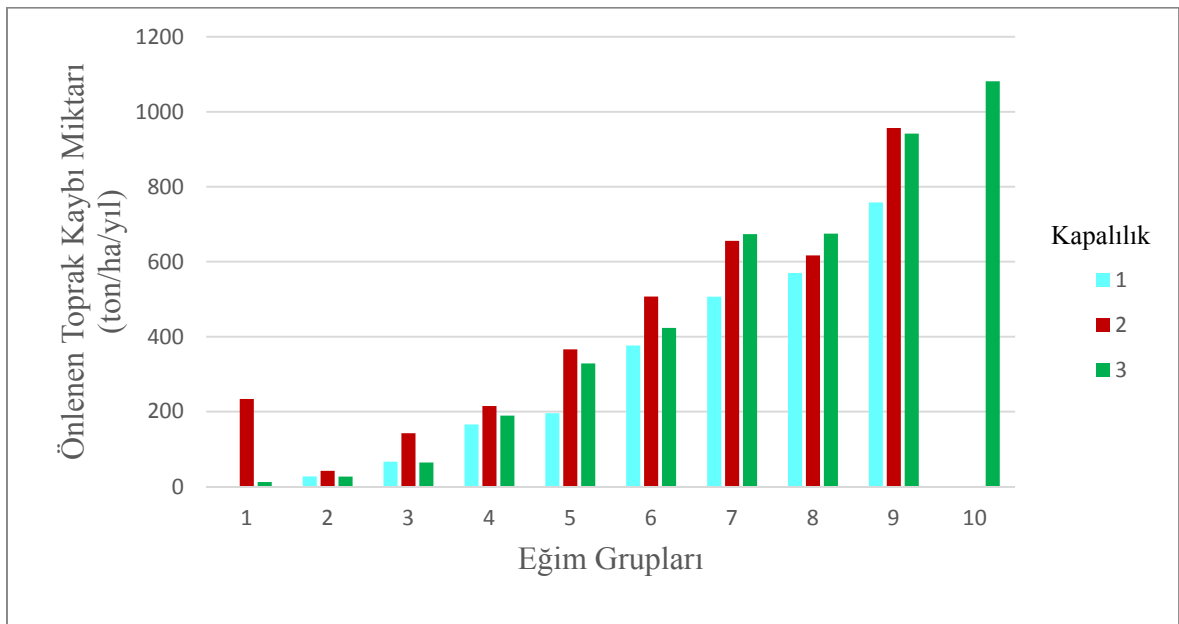
Tablo 18. Tam kapalı meşcerelerde yaş sınıfları ve gelişme çağlarına göre meşcere bileşenleri ve önlenen toprak kaybı

	N (adet/ha)			G (m ² /ha)			Hacim (m ³ /ha)			ÖTK (ton/ha/yıl)			Ortalama N (adet/ha)	Ortalama G (m ² /ha)	Ortalama V (m ³ /ha)	Ortalama ÖTK (ton/ha/yıl)
Yaş Sınıfları	b	c	d	b	c	d	b	c	d	b	c	d				
I	570	-	125	6	-	46	29	-	503	326	-	532	496	13	108	360
II	823	417	338	11	18	35	56	130	289	425	657	495	790	12	68	437
III	716	582	263	11	24	39	60	167	339	312	351	587	575	23	162	372
IV	625	566	363	8	25	31	25	163	260	9	622	375	478	27	202	495
V	858	504	291	12	22	35	58	146	292	267	623	593	342	32	265	579
VI	-	645	307	-	26	40	-	163	356	-	430	701	338	39	338	676
VII	375	700	325	5	36	44	33	250	395	668	549	1068	386	37	323	936
VIII	-	588	700	-	25	48	-	150	381	-	557	513	610	30	196	548
Ortalama	780	572	308	11	24	37	54	163	321	390	489	623	499	27	211	528

3.3. Karaburun (2010) Yöntemi ile Eğim Gruplarına Göre Veri Analizi

3.3.1. Eğim Grubu- Kapalılık Analizi

Eğim gruplarına ve kapalılık sınıflarına göre önlenen toprak kaybı değerlendirildiğinde; 1 kapalı ve 2. eğim grubundaki meşcerelerde 27 ton/ha/yıl, aynı kapalılığa sahip 9. eğim grubunda ise 758 ton/ha/yıl toprak kaybının önlendiği anlaşılmıştır. Gevşek kapalı meşcerelerde en yüksek değer, 9. eğim grubundaki 758 ton/ha/yıl'dır. Genel olarak, eğim grupları arttıkça 1 kapalı meşcerelerdeki önlenen toprak kaybı miktarları da artış göstermekte ve 9. eğim grubunda zirveye ulaşmaktadır. 2 kapalı meşcerelerde, 1. eğim grubundaki değer 234 ton/ha/yıl, 9. eğim grubundaki değer ise 957 ton/ha/yıl'dır. Orta kapalı meşcerelerde önlenen en yüksek toprak kaybı değeri 9. eğim grubunda, 957 ton/ha/yıl ile meydana gelmektedir. Eğim grupları arttıkça değerler yukarı yönlü bir trend izlemekte, 9. eğim grubunda en yüksek seviyeye ulaşılmaktadır. Tamkapalı meşcerelerde, 1. eğim grubundaki değer 12 ton/ha/yıl iken, 10. eğim grubundaki değer 1081 ton/ha/yıl olarak belirlenmiştir. Önlenen toprak kaybı, eğim arttıkça yükselen bir trend göstermekte ve 10. eğim grubunda en yüksek değere ulaşmaktadır (Şekil 29) (Tablo 19).



Şekil 29. Eğim grubu ve kapalılık sınıflarına göre önlenen toprak kaybı

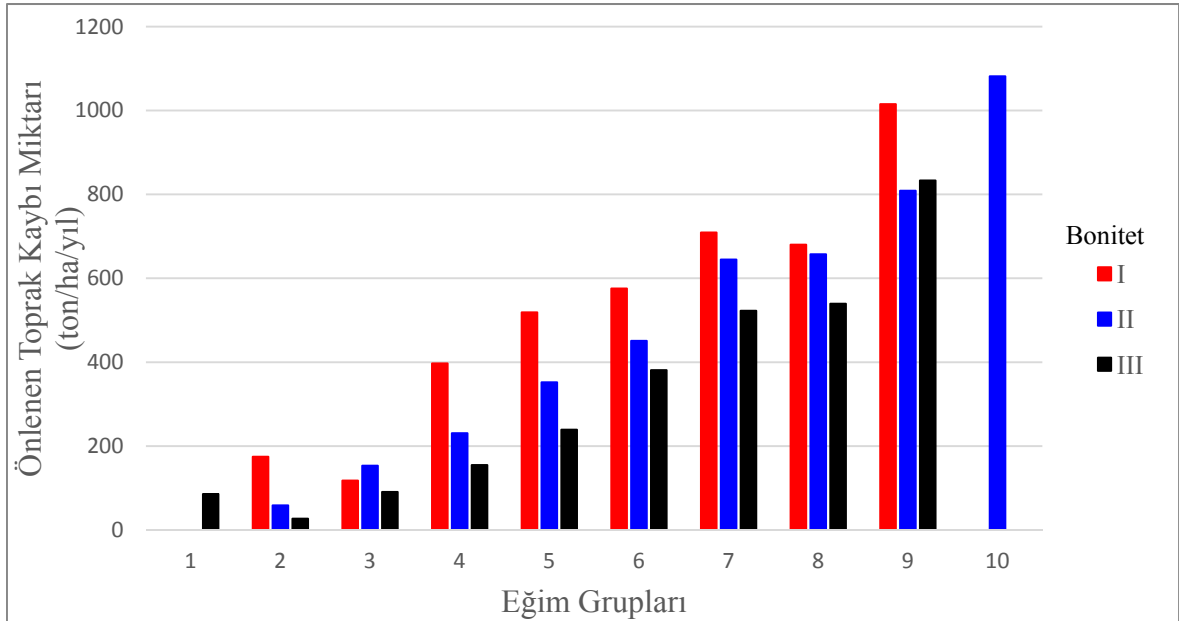
Tablo 19. Eğim grubu ve kapallık sınıflarına göre önlenen erozyon

	N (adet/ha)			G (m ² /ha)			Hacim (m ³ /ha)			ÖTK (ton/ha/yıl)			Ortalama N (adet/ha)	Ortalama G (m ² /ha)	Ortalama V (m ³ /ha)	Ortalama ÖTK (ton/ha/yıl)
Eğim Grupları	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
1	-	509	677	-	15	9	-	90	39	-	234	12	621	11	56	86
2	215	294	595	6	7	11	32	43	51	27	42	27	347	8	42	33
3	185	336	536	9	13	13	54	81	70	66	142	64	322	11	70	100
4	198	320	587	14	17	21	100	112	140	166	215	189	374	17	118	191
5	171	310	560	13	22	22	93	167	159	196	366	328	352	19	144	308
6	193	328	531	13	22	25	99	170	184	376	507	423	388	21	161	444
7	172	311	533	14	20	27	113	158	198	507	655	673	360	21	162	629
8	147	290	530	12	23	28	105	196	216	570	617	675	341	22	179	626
9	187	346	336	13	16	34	86	110	300	758	957	942	259	18	135	848
10	-	-	1650	-	-	31	-	-	166	-	-	1081	1650	31	166	1081
Ortalama	179	315	545	13	20	24	97	152	177	343	485	479	362	20	147	447

3.3.2. Eğim Grubu- Bonitet Analizi

Eğim grupları ve bonitet sınıfları birlikte irdelendiğinde; önlenen toprak kaybının eğim arttıkça yükseldiği görülmektedir. I. bonitet sınıfında, 2. eğim grubunda önlenen toprak kaybı miktarı 175 ton/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. İyi bonitetteki en yüksek toprak kaybı önleme değeri ise 9. eğim grubunda 1015 ton/ha/yıl olarak belirlenmiştir. II. bonitet sınıfında, 2. eğim grubunda önlenen toprak kaybı miktarı 59 ton/ha/yıl olarak ortaya konmuş olup, bu bonitet sınıfındaki en yüksek önleme miktarı 10. eğim grubunda 1081 ton/ha/yıl ile elde edilmiştir. III. bonitet ve 1. eğim grubunda 86 ton/ha/yıl toprak kaybı önlenirken, bu bonitetteki en yüksek toprak kaybı 9. eğim grubunda 833 ton/ha/yıl ile önlenmektedir. II. bonitet ve 10. eğim grubunda 1081 ton/ha/yıl ile en yüksek toprak kaybı önleme değerine ulaşılmıştır.

Genel olarak, I. bonitet, her eğim grubunda en yüksek erozyon önleme kapasitesine sahipken, III. bonitet en düşük değerlere sahiptir. Ayrıca, eğimin artmasıyla birlikte, özellikle 7. ve 8. eğim gruplarında her üç bonitet sınıfında da önlenen erozyon miktarlarında önemli artışlar kaydedilmiştir. Bu bulgular, hem bonitet, hem de eğim grubunun toprak kaybı önleme üzerindeki etkisini belirgin biçimde göstermekte ve daha iyi bonitet sınıflarının daha fazla toprak kaybını önlediğini ortaya koymaktadır (Şekil 30) (Tablo 20).



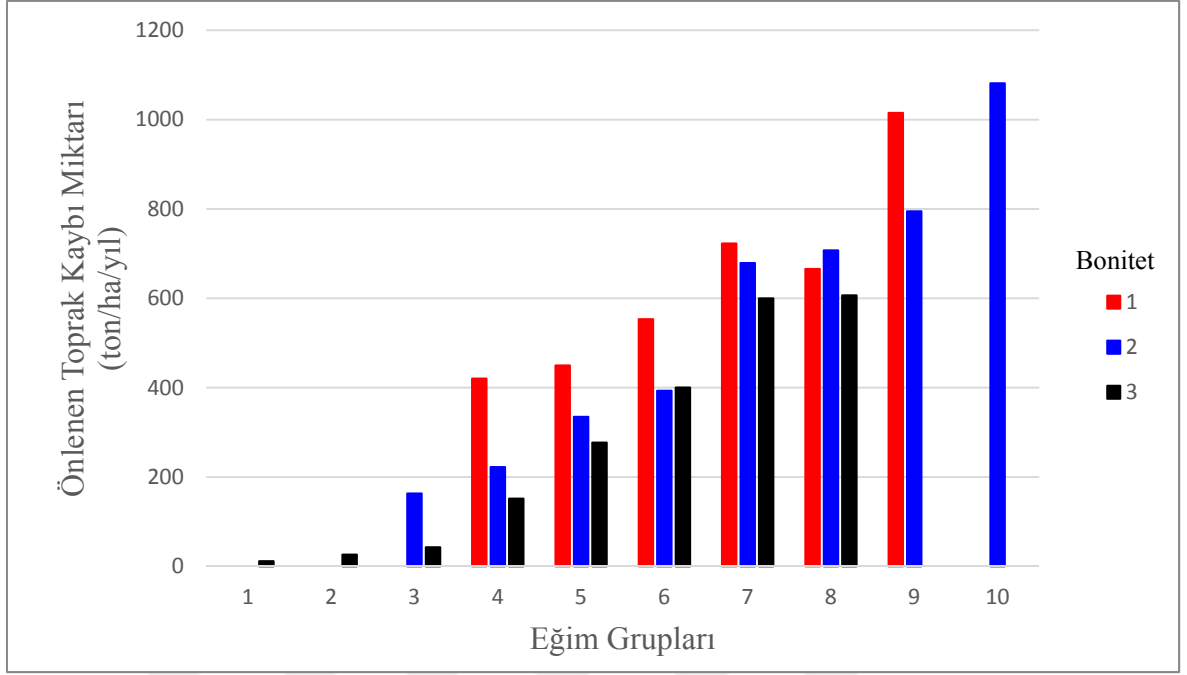
Şekil 30. Eğim grubu ve bonitet sınıflarına göre önlenen toprak kaybı

Tablo 20. Eğim grubu ve bonitet sınıflarına göre meşcere bileşenleri ve önlenen toprak kaybı

	N (adet/ha)			G (m ² /ha)			Hacim (m ³ /ha)			ÖTK (ton/ha/yıl)			Ortalama N (adet/ha)	Ortalama G (m ² /ha)	Ortalama V (m ³ /ha)	Ortalama ÖTK (ton/ha/yıl)
Eğim grupları	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III				
1	-	-	621	-	-	11	-	-	56	-	-	86	621	11	56	86
2	383	291	352	26	9	7	214	58	35	175	59	27	347	8	42	33
3	165	390	314	14	17	11	124	106	63	118	153	91	322	11	70	100
4	227	390	374	15	20	16	125	148	99	397	231	155	374	17	118	191
5	318	402	318	24	22	17	200	166	118	519	352	239	352	19	144	308
6	381	405	366	30	21	18	252	160	127	576	451	381	388	21	161	444
7	388	371	311	24	21	19	197	160	137	709	645	523	360	21	162	629
8	220	389	308	20	23	21	173	185	171	680	657	540	341	22	179	626
9	354	291	205	32	15	16	297	103	116	1015	809	833	259	18	135	848
10	-	1650	-	-	31	-	-	166	-	-	1081		1650	31	166	1081
Ortalama	360	387	334	25	21	16	205	161	112	647	516	303	362	20	147	447

- Tam Kapalı Meşcerelerde Eğim Grubu- Bonitet Analizi

Tam kapalı (kapalılık >%70) meşcerelerde eğim grupları ve bonitet sınıflarına göre değerlendirme yapıldığında; önlenen toprak kaybının eğim arttıkça belirgin şekilde yükseldiği görülmektedir. I. bonitet ve 4. eğim grubundaki meşcerelerde önlenen toprak kaybı miktarı 421 ton/ha/yıl olarak belirlenmiştir. Aynı bonitet sınıfında, 9. eğim grubunda bu değer, 1015 ton/ha/yıl olarak hesaplanmış ve bu bonitette en yüksek toprak kaybı önleme kapasitesine ulaşıldığı anlaşılmıştır. Bu bulgular, I. bonitetin özellikle orta ve yüksek eğim gruplarında etkili toprak kaybı önleme kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. II. bonitette, 3. eğim grubunda önlenen toprak kaybı miktarı 163 ton/ha/yıl olarak kaydedilmiştir. Bu bonitette en yüksek önlenen toprak kaybı değeri, 10. eğim grubunda 1081 ton/ha/yıl ile ortaya konmuştur. II. bonitetteki orta eğim seviyelerinde (5-7. eğim grupları) de önemli miktarda toprak kaybı önleme potansiyeli olduğu, bu gruplarda sırasıyla 335, 393 ve 679 ton/ha/yıl değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Bu bulgular, II. bonitetin yüksek eğimlerde daha güçlü bir toprak kaybı önleme kapasitesine sahip olduğunu ve özellikle 10. eğim grubunda maksimum potansiyel sergilediğini ortaya koymaktadır. III. bonitet ve 1. eğim grubundaki meşcerelerde önlenen toprak kaybı miktarı 12 ton/ha/yıl olarak kaydedilmiştir. Bu grupta, en yüksek önleme değeri 8. eğim grubunda 607 ton/ha/yıl ile gözlemlenmiştir. III. bonitette, düşük ve orta eğim seviyelerinden sonra (1-6. eğim grupları) belirgin bir artış gösterirken, yüksek eğim gruplarında bu potansiyelin azaldığı gözlemlenmiştir. En yüksek toprak kaybı önleme potansiyeline sahip bonitet sınıfı, 10. eğim grubunda ulaştığı maksimum 1081 ton/ha/yıl değeri ile II. bonitet sınıfı olmuştur. Buna karşın, en düşük toprak kaybı önleme potansiyeline sahip bonitet sınıfı, özellikle düşük eğim seviyelerinde düşük değerlerle III. bonitet sınıfıdır. Bu bulgular, bonitetin eğime bağlı olarak değişen toprak kaybı önleme kapasitesini ortaya koymakta ve özellikle yüksek eğim gruplarında belirgin farklılıkların oluştuğunu göstermektedir. Eğim grubu ve bonitet iyileştikçe önlenen toprak kaybı miktarında belirgin artış gözlemlenmektedir. Yüksek eğim gruplarında, iyi bonitet değerleri toprak korumada daha etkin rol oynarken, düşük eğim grupları toprak kaybı önlemede etkin olmamaktadır (Şekil 31) (Tablo 21).



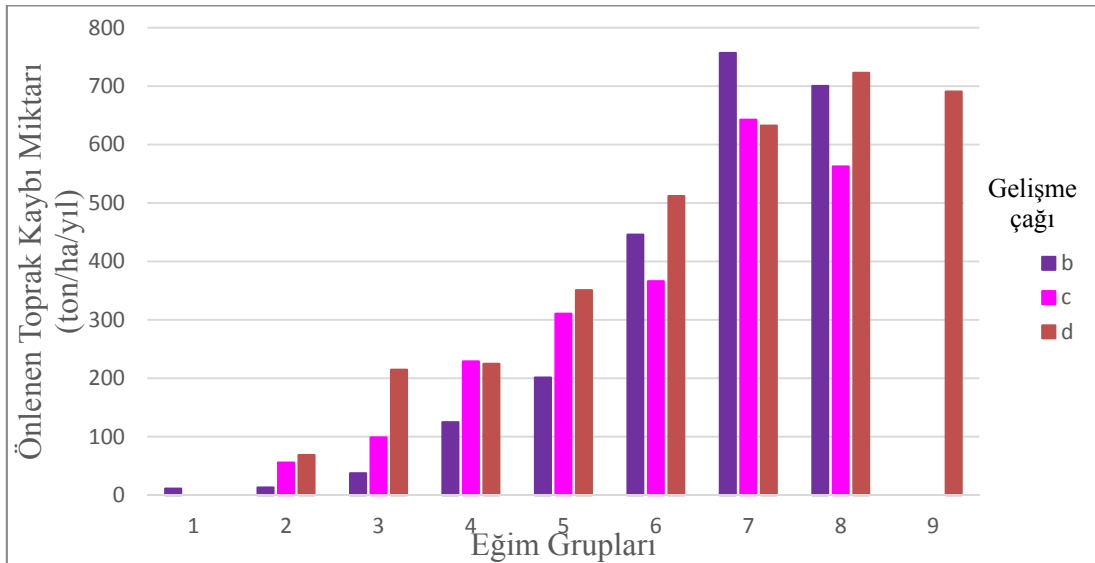
Şekil 31. Tam kapalı meşcerelerde eğim grubu ve bonitet sınıflarına göre önlenebilir toprak kaybı

Tablo 21. Tam kapalı meşcerelerde eğim grubu ve bonitet sınıflarına göre meşcere bileşenleri ve önlenen toprak kaybı

	N (adet/ha)			G (m ² /ha)			Hacim (m ³ /ha)			ÖTK (ton/ha/yıl)			Ortalama N (adet/ha)	Ortalama G (m ² /ha)	Ortalama V (m ³ /ha)	Ortalama ÖTK (ton/ha/yıl)
Eğim Grup	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III				
1	-	-	677	-	-	9	-	-	39	-	-	12	677	9	39	12
2	-	-	595	-	-	11	-	-	51	-	-	27	595	11	51	27
3	-	694	502	-	17	12	-	96	65	-	163	43	536	13	70	64
4	433	549	626	43	23	18	408	164	110	421	223	152	587	21	140	189
5	422	597	547	25	23	21	198	164	137	450	335	277	560	22	159	328
6	444	554	542	33	23	23	276	169	156	553	393	400	531	25	184	423
7	546	553	462	30	26	24	243	192	165	723	679	600	533	27	198	673
8	326	571	484	34	28	27	289	211	212	666	707	607	530	28	216	675
9	354	300	-	32	39	-	297	307	-	1015	795	-	336	34	300	942
10	-	1650	-	-	31	-	-	166	-	-	1081	-	1650	31	166	1081
Ortalama	493	566	535	31	25	20	250	180	136	645	511	345	545	24	177	479

3.3.3. Eğim Grubu - Gelişme Çağı Analizi

Eğim grubu ve gelişme çağına bağlı olarak önlenen toprak kaybı miktarlarında önemli farklılıklar vardır. b gelişme çağıında, 1. eğim grubunda önlenen toprak kaybı miktarı 12 ton/ha/yıl olarak belirlenmiştir. Aynı gelişme çağıında, 8. eğim grubunda önlenen toprak kaybı miktarı 701 ton/ha/yıl olarak gerçekleşmiş ve bu gelişme çağıında ulaşılan en yüksek değer 7. eğim grubunda 757 ton/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. c gelişme çağıında, 2. eğim grubunda önlenen toprak kaybı 56 ton/ha/yıl olarak belirlenmiştir. Aynı gelişme çağıında, 8. eğim grubunda bu değer 563 ton/ha/yıl olarak hesaplanmış ve c gelişme çağıındaki en yüksek değer 7. eğim grubunda 643 ton/ha/yıl olarak ortaya konmuştur. d gelişme çağıında, 2. eğim grubunda önlenen toprak kaybı miktarı 69 ton/ha/yıl olarak belirlenmiştir. Bu gelişme çağıında, en yüksek toprak kaybı önleme miktarı 8. eğim grubunda 723 ton/ha/yıl ile gözlemlenmiş ve 9. eğim grubu için aynı parametre 691 ton/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu bulgu, d gelişme çağıının yüksek eğim seviyelerinde güçlü toprak kaybı önleme potansiyeline sahip olduğunu ve özellikle 6. eğim grubundan itibaren belirgin artış gösterdiğini ortaya koymaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde; b gelişme çağıında toprak kaybı önleme miktarı, özellikle 6-8. eğim gruplarında hızlanmış, en yüksek değerlere bu gruplarda ulaşılmıştır. c gelişme çağıında ise toprak kaybı önleme miktarı 5-7. eğim gruplarında artış eğilimi göstermiştir. d gelişme çağıında da 6-8. eğim gruplarında hızlı artış gözlemlenmiş ve 8. grupta, en yüksek toprak kaybı önleme miktarına ulaşılmıştır (Şekil 32) (Tablo 22).



Şekil 32. Eğim grupları ve gelişme çağılarına göre önlenen toprak kaybı

Tablo 22. Eğim grupları ve gelişme çağlarına göre meşcere bileşenleri ve önlenen toprak kaybı

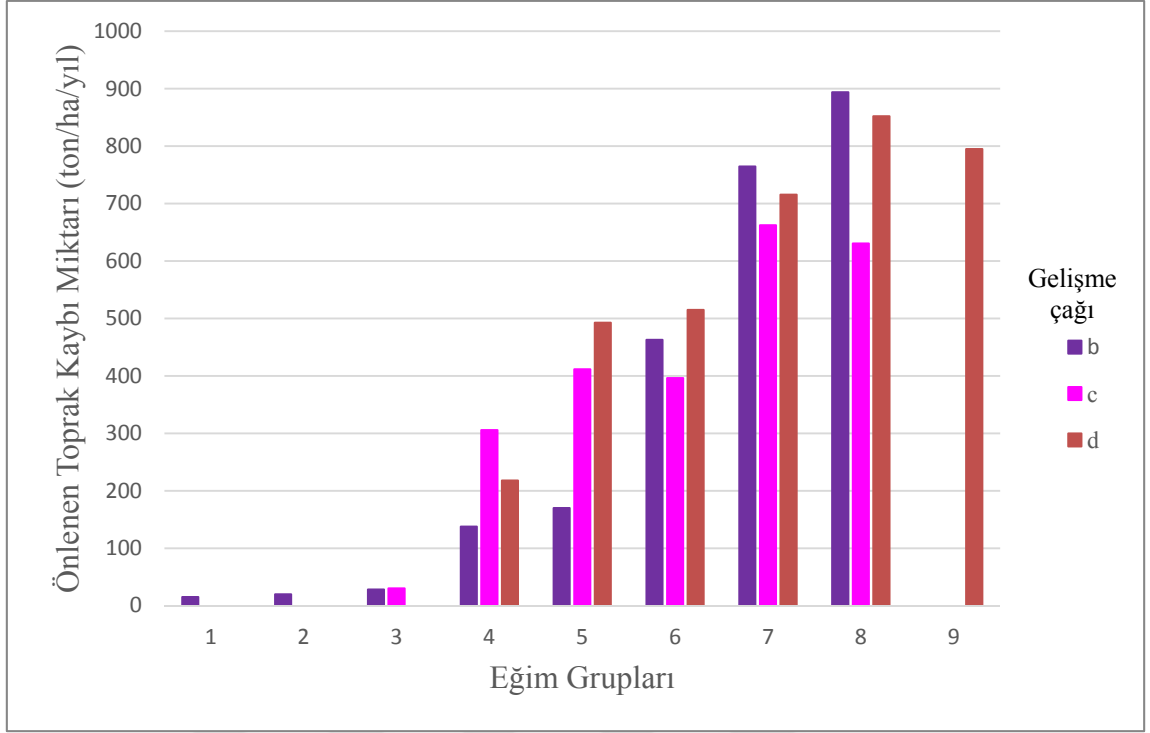
	N (adet/ha)			G (m ² /ha)			V(m ³ /ha)			ÖTK (ton/ha/yıl)			Ortalama N (adet/ha)	Ortalama G (m ² /ha)	Ortalama V (m ³ /ha)	Ortalama ÖTK (ton/ha/yıl)
Eğim Grupları	b	c	d	b	c	d	b	c	d	b	c	d				
1	772	-	-	9	-	-	35	-	-	12	-	-	772	9	35	12
2	384	315	104	5	13	15	19	88	99	13	56	69	350	6	32	22
3	348	274	155	4	12	20	17	72	146	38	99	215	288	9	59	91
4	616	255	205	8	12	24	39	79	192	125	229	225	309	18	137	202
5	530	420	196	8	17	25	34	114	206	201	311	351	300	21	159	321
6	657	418	257	9	17	28	48	110	240	446	366	512	356	22	181	468
7	750	395	217	10	18	25	53	116	219	757	643	633	295	23	187	646
8	975	335	198	13	14	25	63	97	223	701	563	723	257	23	200	704
9	-	-	217	-	-	30	-	-	251	-	-	691	217	30	251	691
Ortalama	551	381	216	7	16	25	35	106	217	276	407	526	308	20	163	458

- Tam Kapalı Meşcerelerde Eğim Grubu - Gelişme Çağı Analizi

Tam kapalı meşcereler eğim grupları ve gelişme çağlarına göre irdelendiğinde; b gelişme çağında, 1. eğim grubunda önlenen toprak kaybı 15 ton/ha/yıl olarak ortaya konmuştur. Aynı gelişme çağında, 8. eğim grubunda aynı parametre 894 ton/ha/yıl olarak hesaplanmış ve b gelişme çağında ulaşılan en yüksek değer olmuştur. Bu bulgular, b gelişme çağının, eğim artışıyla birlikte toprak kaybı önleme kapasitesinde önemli artış gösterdiğini ortaya koymaktadır.

c gelişme çağında, 3. eğim grubunda önlenen toprak kaybı 30 ton/ha/yıl olarak belirlenmiştir. Aynı gelişme çağında, 8. eğim grubunda bu değer 631 ton/ha/yıl olarak kaydedilmiş ve c gelişme çağında ulaşılan en yüksek değer ise 7. eğim grubunda 662 ton/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. d gelişme çağında, 4. eğim grubunda önlenen toprak kaybı 218 ton/ha/yıl olarak belirlenmiştir. Aynı gelişme çağında, 9. eğim grubunda aynı parametre 795 ton/ha/yıl olarak ortaya konmuş ve bu gelişme çağında ulaşılan en yüksek değer ise 8. eğim grubunda 852 ton/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. Genel bir değerlendirme yapıldığında; b gelişme çağında toprak kaybı önleme miktarı 6-8. eğim gruplarında hızlanmış ve en yüksek değer olan 894 ton/ha/yıl seviyesine ulaşmıştır. c gelişme çağında, toprak kaybı önleme miktarı 4-8. eğim gruplarında sürekli bir artış göstermiştir. d gelişme çağında ise toprak kaybı önleme miktarları 5. eğim grubundan itibaren hızla artmış ve 8. eğim grubunda en yüksek seviyeye ulaşmıştır.

Eğim artışı ile birlikte önlenen toprak kaybı miktarı artmaktadır. Ancak, eğim arttıkça özellikle 5., 6., 7. ve 8. eğim gruplarında belirgin artışlar gözlemlenmiştir (Şekil 33) (Tablo 23).



Şekil 33. Tam kapalı meşcerelerde eğim grupları ve gelişme çağılarına göre önlenen toprak kaybı

Tablo 23. Tam kapalı meşcerelerde eğim grupları ve gelişme çağılarına meşcere bileşenleri ve önlenen toprak kaybı

	N (adet/ha)			G (m ² /ha)			V (m ³ /ha)			ÖTK (ton/ha/yıl)			Ortalama N (adet/ha)	Ortalama G (m ² /ha)	Ortalama V (m ³ /ha)	Ortalama ÖTK (ton/ha/yıl)
Eğim Grupları	b	c	d	b	c	d	b	c	d	b	c	d				
1	825	-	-	9	-	-	36	-	-	15	-	-	825	9	36	15
2	626	-	-	8	-	-	34	-	-	20	-	-	626	8	34	20
3	546	325	-	7	22	-	28	104	-	28	30	-	519	8	37	29
4	786	467	308	11	21	32	52	153	267	138	306	218	547	21	154	192
5	790	659	261	12	26	34	52	175	304	170	412	493	552	26	194	392
6	887	549	327	13	22	39	67	147	344	463	396	515	504	29	231	470
7	826	554	315	11	26	39	62	171	332	765	662	716	478	30	238	715
8	813	536	284	13	24	32	79	171	283	894	631	852	370	29	248	824
9	-	-	300	-	-	39	-	-	307	-	-	795	300	39	307	795
Ortalama	780	572	308	11	24	37	54	163	321	390	489	623	499	27	211	528

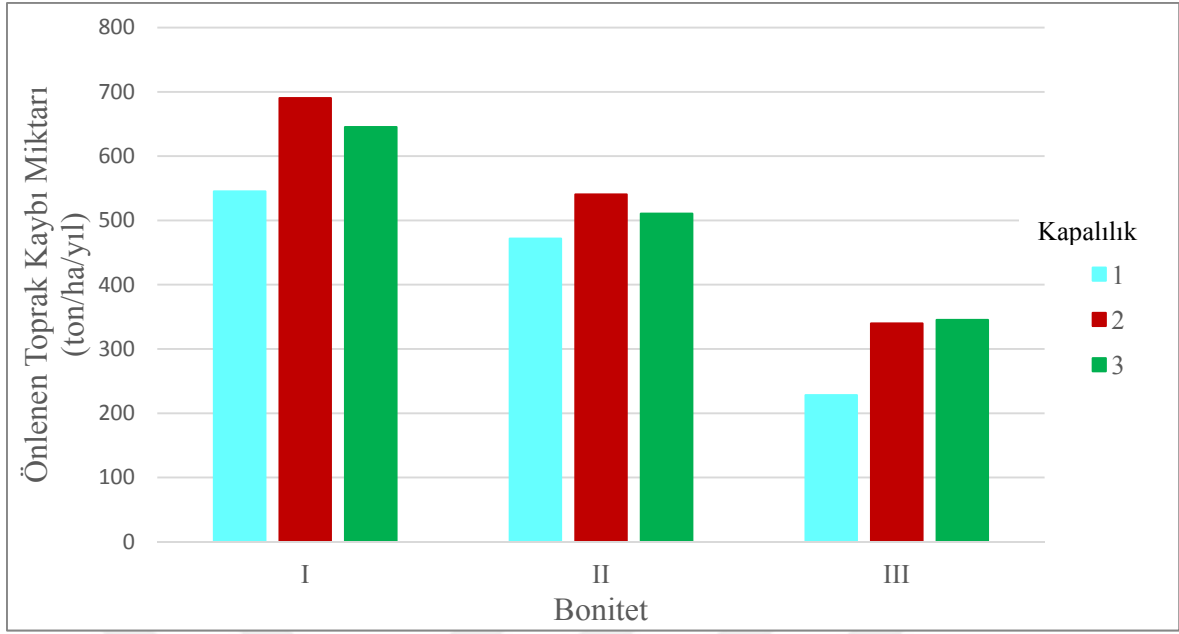
3.4. Karaburun (2010) Yöntemi ile Bonitete Göre Veri Analizi

3.4.1. Bonitet - Kapalılık Analizi

Bonitet ve kapalılık durumuna göre veriler irdelendiğinde; 1 kapalı ve I. bonitetteki meşcereler için önlenen toprak kaybı miktarı 545 ton/ha/yıl olarak hesaplanırken, III. bonitet için bu değer 228 ton/ha/yıl olarak ortaya konmuştur. Bu kapalılıkta, I. bonitette önlenen toprak kaybı miktarının III. bonitete kıyasla oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir. 2 kapalı meşcerelerde ise, I. bonitette önlenen toprak kaybı 690 ton/ha/yıl, III. bonitette ise 340 ton/ha/yıl olarak kaydedilmiştir. Bu kapalılıkta da, I. bonitet, III. bonitete kıyasla daha yüksek bir değere sahip olduğu dikkat çekmektedir. 3. kapalı ve I. bonitette önlenen toprak kaybı 645 ton/ha/yıl, III. bonitette ise 345 ton/ha/yıl olarak belirlenmiştir.

Her bonitet sınıfında artış gözlemlenmekle birlikte, I. bonitette toprak kaybı önleme kapasitesinin daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Kapalılık derecelerine göre bonitetlerin değişimi incelendiğinde; I. bonitette artan kapalılık seviyelerinde toprak kaybını önleme kapasitesinde belirgin bir artış gösterdiği, özellikle 1 kapalılıktan 2 kapalılık sınıfına geçişte bu artışın en dikkat çekici seviyede olduğu görülmektedir. Buna karşılık, III. bonitette kapalılık derecesinin artışı ile birlikte önlenen toprak kaybı miktarında daha düşük bir artış gözlemlenmektedir.

Bu sonuçlar, kapalılık sabit kaldığında bonitet arttıkça önlenen toprak kaybı miktarının da arttığını ortaya koymaktadır (Şekil 34) (Tablo 24).



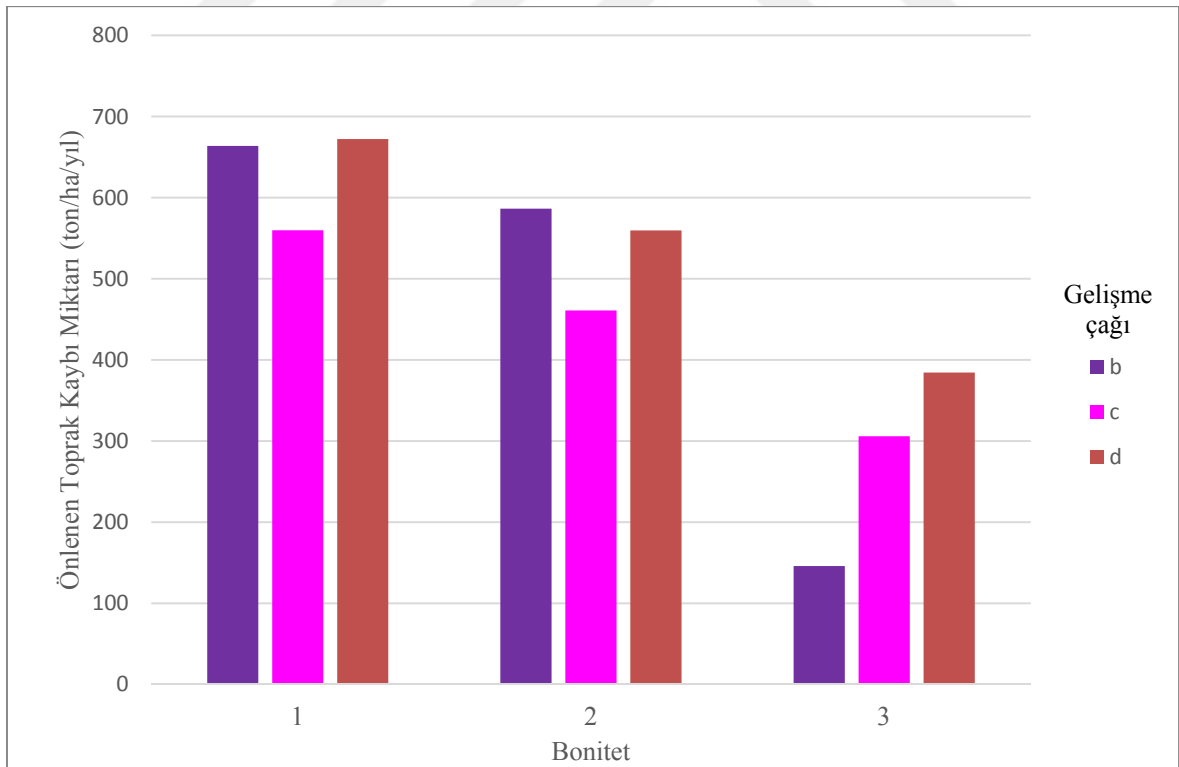
Şekil 34. Bonitet ve kapalılık değerlerine göre önlenen toprak kaybı

Tablo 24. Bonitet ve kapalılık sınıflarına göre meşcere bileşenleri ve önlenen toprak kaybı

	N (adet/ha)			G (m ² /ha)			V (m ³ /ha)			ÖTK (ton/ha/yıl)			Ortalama N (adet/ha)	Ortalama G (m ² /ha)	Ortalama V (m ³ /ha)	Ortalama ÖTK (ton/ha/yıl)
Bonitet sınıfı	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
I	185	299	493	14	24	31	121	195	250	545	690	645	360	25	205	647
II	180	309	566	13	21	25	105	167	180	472	541	511	387	21	161	516
III	177	329	535	12	17	20	88	117	136	228	340	345	334	16	112	303
Ortalama	179	315	545	13	20	24	97	152	177	343	485	479	362	20	147	447

3.4.2. Bonitet - Gelişme Çağı Analizi

Bonitet ve gelişme çağı birlikte incelendiğinde; b çağında ve I. bonitet meşcerelerde önlenen toprak kaybı 664 ton/ha/yıl, II. bonitette 586 ton/ha/yıl ve III. bonitette ise 146 ton/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. d çağında ve I. bonitet meşcerelerde önlenen erozyon miktarı; 672 ton/ha/yıl, II. bonitette 560 ton/ha/yıl ve III. bonitette ise 384 ton/ha/yıl'dır. b çağında ve I. bonitet meşcerelerde ağaç sayısı 805 adet/ha, II. bonitette 714 adet/ha ve III. bonitette 477 adet/ha'dır. d kalın ağaçlık çağında ise ağaç sayısı; I. bonitet meşcerelerde 247 adet/ha, II. bonitette 217 adet/ha ve III. bonitette ise 196 adet/ha olarak ortaya konmuştur. b ince ağaçlık çağında, I. bonitet meşcerelerde göğüs yüzeyi 11 m²/ha, II. bonitette 10 m²/ha ve III. bonitette ise 6 m²/ha'dır. d çağında ise göğüs yüzeyi; I. bonitette 29 m²/ha, II. bonitette 26 m²/ha ve III. bonitette ise 22 m²/ha olarak belirlenmiştir. b ince çağında hacim değeri; I. bonitet meşcerelerde 54 m³/ha, II. bonitette 52 m³/ha ve 3. bonitette ise 28 m³'tür. d çağında hacim değeri; I. bonitet meşcerelerde 259 m³, II. bonitette 225 m³ ve III. bonitette ise 178 m³ olarak kaydedilmiştir (Şekil 35) (Tablo 25).



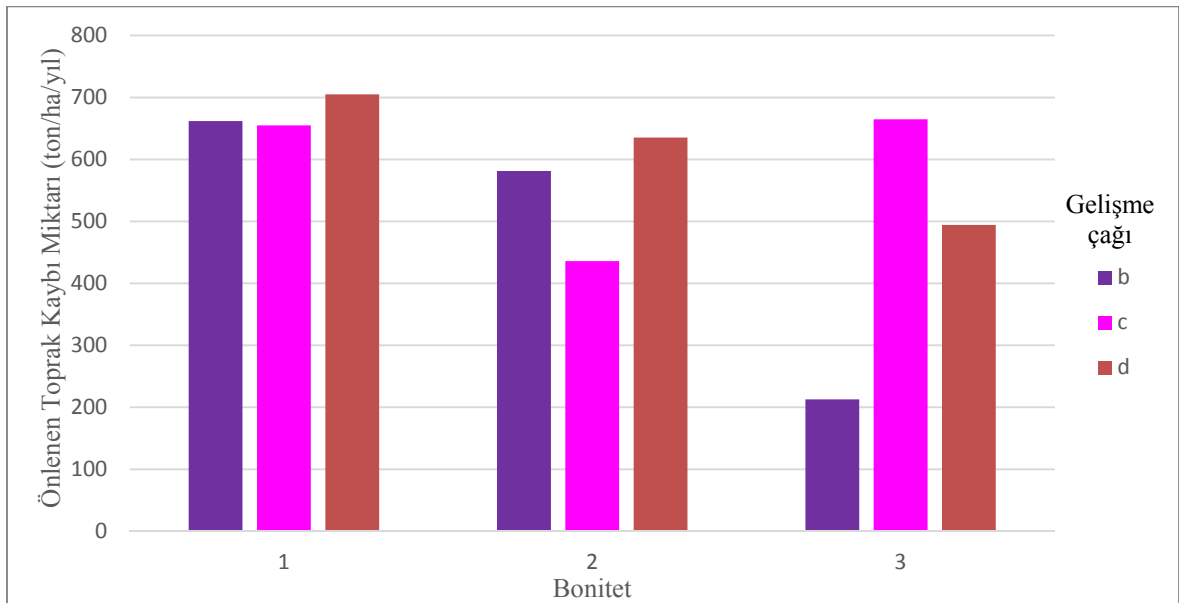
Şekil 35. Bonitet ve gelişme çağlarına göre önlenen toprak kaybı

Tablo 25. Bonitet ve gelişme çağlarına göre meşcere bileşenleri ve toprak kaybı

	N (adet/ha)			G (m ² /ha)			V (m ³ /ha)			ÖTK (ton/ha/yıl)			Ortalama N (adet/ha)	Ortalama G (m ² /ha)	Ortalama V (m ³ /ha)	Ortalama ÖTK (ton/ha/yıl)
Bonitet Sınıfları	b	c	d	b	c	d	b	c	d	b	c	d				
I	805	472	247	11	18	29	54	127	259	664	560	672	315	27	231	663
II	714	444	217	10	19	26	52	128	225	586	461	560	312	23	188	539
III	477	276	196	6	12	22	28	71	178	146	306	384	302	15	110	293
Ortalama	551	381	216	7	16	25	35	106	217	276	407	526	308	20	163	458

- Tam Kapalı Meşcerelerde Bonitet - Gelişme Çağı Analizi

Tam kapalı meşcerelerde bonitet ve gelişme çağına göre önlenen toprak kaybı değerlendirildiğinde; b çağında ve I. bonitetteki meşcerelerde önlenen toprak kaybı 662 ton/ha/yıl, II. bonitette 581 ton/ha/yıl ve III. bonitette 213 ton/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. d çağında ise I. bonitetteki meşcerelerde en yüksek önlenen toprak kaybı 705 ton/ha/yıl olarak kaydedilmiş olup, II. bonitette 635 ton/ha/yıl ve III. bonitette 494 ton/ha/yıl olarak ortaya konmuştur. b çağında ağaç sayısı; I. bonitet meşcerelerde 886 adet/ha, II. bonitette 801 adet/ha ve III. bonitette ise 741 adet/ha olarak kaydedilmiştir. d çağında ise I. bonitet meşcerelerde ağaç sayısı 312 adet/ha, II. bonitette 303 adet/ha ve III. bonitette 316 adet/ha'dır. b çağında göğüs yüzeyi; I. bonitet meşcerelerde 11 m²/ha, 2. bonitette 12 m²/ha ve III. bonitette ise 10 m²/ha olarak hesaplanmıştır. d çağında ise I. bonitet meşcerelerde göğüs yüzeyi 40 m²/ha, II. bonitette 38 m²/ha ve III. bonitette 32 m²/ha'dır. b ince ağaçlık çağında hacim değeri; I. bonitet meşcerelerde 58 m³/ha, II. bonitette 64 m³/ha ve III. bonitette 47 m³/ha'tür. d çağında, I. bonitet meşcerelerde hacim 356 m³/ha, II. bonitette 332 m³/ha ve III. bonitette 255 m³/ha olarak hesaplanmıştır. I. bonitet ve d çağındaki meşcerelerde en yüksek önlenen toprak kaybı 705 ton/ha/yıl. III. bonitet ve b ince ağaçlık çağında ise önlenen toprak kaybı miktarı en düşük olup 213 ton/ha/yıl'dır (Şekil 36) (Tablo 26).



Şekil 36. Tam kapalı meşcerelerde bonitet ve gelişme çağlarına göre önlenen toprak kaybı

Tablo 26. Tam kapalı meşcerelerde bonitet ve göre gelişme çağlarına göre meşcere bileşenleri ve toprak kaybı

	N (adet/ha)			G (m ² /ha)			V (m ³ /ha)			ÖTK (ton/ha/yıl)			Ortalama N (adet/ha)	Ortalama G (m ² /ha)	Ortalama V (m ³ /ha)	Ortalama ÖTK (ton/ha/yıl)
Bonitet Sınıfları	b	c	d	b	c	d	b	c	d	b	c	d				
I	886	583	312	11	22	40	58	150	356	662	655	705	451	32	277	691
II	801	588	303	12	25	38	64	170	332	581	436	635	490	29	228	553
III	741	478	316	10	23	32	47	134	255	213	665	494	547	20	137	373
Ortalama	780	572	308	11	24	37	54	163	321	390	489	623	499	27	211	528

4. TARTIŞMA

Toprak kaybı miktarının yaş sınıfı, eğim grupları ve bonitete göre değişimleri incelenmiştir. Yaş sınıfları, eğim grupları ve bonitetler ile meşcere bileşenleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

4.1. Genel Çıktıların Tartışılması

4.1.1. Yaş Sınıflarına Göre Genel Çıktıların Tartışılması

Yaş sınıflarına göre meşcere bileşenleri ile toprak kaybı miktarları ve önlenen erozyon miktarları arasındaki ilişkiler, meşcere bileşenlerinin toprak kaybı kontrolündeki etkisini anlamak için oldukça önemli olmaktadır. Genellikle, meşcere yaşı ilerledikçe ağaç sayısının azalması, buna karşın göğüs yüzeyi ve hacim değerlerinin artması beklenmektedir. Bu değişim, ormanların büyüme sürecinde ağaç sayısı azalırken, ormanın hektardaki göğüs yüzeyi ve hacimlerinin artmasıyla neticelenmektedir. Örneğin, I. yaş sınıfında ağaç sayısı 452 adet/ha iken, X. yaş sınıfında bu sayı 272 adet/ha'a düşmektedir. Ancak, aynı şekilde göğüs yüzeyi 8 m²/ha'dan 33 m²/ha'a ve hacim 53 m³/ha'dan 283 m³/ha'a yükselmiştir. Bu durum, mevcut orman yapısının beklenen trendleri gösterdiğini ortaya koymaktadır. Hacim ve göğüs yüzeyinin artışı, toprak kaybının önlenmesinde önemli bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Meşcerelerin yaşlanmasıyla birlikte tepe çatısının genişlemesi ve gövde kalınlaşması ile yağmurun ve yüzey akışının toprağa doğrudan temasını büyük ölçüde azaltarak erozyonu önemli ölçüde engellemektedir. Meşcere yaşının ilerlemesiyle bireylerde yaprak, dal ve kök yapılarının gelişmesi, buna bağlı olarak toprak stabilitesinin de artırması suyun emilmesine katkı sağlamaktadır. Bu şekilde, yaşlı ormanlar genç ormanlara kıyasla daha etkili toprak koruma sağlayarak erozyonun önlenmesine büyük ölçüde yardımcı olmaktadır. I. yaş sınıfında önlenen erozyon miktarı, Karaburun (2010) eşitliği ile 426 ton/ha/yıl iken, X. yaş sınıfında bu değer 569 ton/ha/yıl'a ulaşmaktadır. Bu artış, hacim ve göğüs yüzeyi arttıkça önlenen erozyon miktarının da arttığını göstermektedir. Ancak, De Jong (1994) eşitliği yardımıyla hesaplanan verilerin çoğunun negatif çıkması, bu denklemin Sentinel-2 uydu görüntüleri

ile uyumlu olmadığını, ağaç türü ve ekosistem yapısı da düşünüldüğünde pratikte kullanışlı olmadığını göstermektedir. Beklentilerin aksine, önlenen erozyon miktarlarının yaş sınıflarının ilerlemesiyle sürekli artış göstermemesi ve inişli çıkışlı bir trend sergilemesi, sadece meşcere bileşenlerinin değil, çevresel faktörlerin de erozyon kontrolünde etkili olabileceğini göstermektedir (Tablo 8) (Şekil 19a,b,c).

Sun vd. (2018) Çin'in Guangdong Eyaleti'nde "Hilly Land Interdisciplinary" deneysel araştırma merkezinde farklı plantasyon türlerinin ve yaşlarının su tutma kapasitesi ve toprak erozyonu üzerindeki etkilerini çalışmışlardır. Sun vd. (2018) çalışmasında, plantasyon yaşı ve türünün toprak kaybı üzerinde önemli bir etkisi olduğu vurgulanmaktadır. Çalışmaya göre, genç plantasyonlar olgunlaşmış olanlara kıyasla daha fazla yüzey akışı ve toprak erozyonuna maruz kalmaktadır. Bu çalışmada yaşlı plantasyonların toprak kaybını yaklaşık %72,2 oranında azalttığı belirtilmiştir. Ayrıca, Okaliptus türlerinin oluşturduğu meşcerelerin, su tutma ve toprak koruma açısından diğer ağaç türlerinden oluşan meşcerelere göre daha başarılı olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, yapılan bu çalışma ile uyum göstermektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmada, genç yaş sınıflarında (I, II, III) toprak kaybı daha yüksek seviyelerde görülmekte ve bu durum Sun vd. (2018) bulgularını desteklemektedir. Özellikle I ve II yaş sınıflarında, Vatandaşlar (2020) çalışmasına göre toprak kaybı miktarları sırasıyla 35 ve 30 ton/ha/yıl olarak tespit edilmiştir. Ancak yaş arttıkça, örneğin IV yaş sınıfında, bu kaybın azalmaya başladığı gözlemlenmektedir. Benzer şekilde, IX ve X yaş sınıflarına gelindiğinde, önlenen toprak kaybı miktarı önemli ölçüde artmaktadır. Karaburun (2010) çalışmasına göre IX. yaş sınıfında önlenen toprak kaybı 596 ton/ha/yıl gibi yüksek bir değere ulaşmıştır. Her iki çalışmada, yaş ilerledikçe toprak kaybının azaldığı ve önlenen toprak kaybı miktarının arttığını gözlenmektedir. Özellikle Okaliptus türünün, hem genç, hem de yaşlı plantasyonlarda toprak kaybını azaltmada etkili olduğu vurgulanmıştır. Sonuç olarak, yaşlı plantasyonların erozyon kontrolünde daha etkili olduğu ve doğru tür seçiminin bu süreçte kritik rol oynadığı anlaşılmaktadır (Tablo 27).

Tablo 27. Plantasyon türlerine göre toprak kaybı miktarları (Sun vd. 2018)

Plantasyon Türleri	Biyokütle (ton/ha)	Ölü Örtü Miktarı (ton/ha)	Erozyon Miktarı (ton/ha/yıl)	Yaş (yıl)	Boy (m)
Karışık Orman (M1) (10 Tür)	110	7.0	1.2	10	20
Karışık Orman (M2)(30 Tür)	130	8.0	1.0	12	22
Okaliptus Monokültür Plantasyonu (EU1)	120	4.5	2.5	10	25
Akasya Monokültür Plantasyonu (AC)	80	5.0	1.8	8	18
Kestane Monokültür Plantasyonu (CH)	90	6.0	1.7	9	

Lin vd. (2013) Çin'in Yunnan eyaletinde, Xiaojiang Nehri'nin Jiangjiagou vadisinde yaptıkları çalışmada, bitki örtüsünün farklı aşamalarının toprak kaybı miktarına etkisini incelemişlerdir. Araştırmada, bitki örtüsü aşamaları, ağaç sayısı ve toprak derinliği gibi faktörler ile toprak kaybı miktarı arasındaki ilişki kapsamında değerlendirilmiştir. Çalışma, bitki örtüsünün toprak koruma kapasitesine olan etkisini ortaya koymuştur. Lin vd. (2013) çalışmasında kullanılan bitki örtüsü aşamaları (Doğal Çayır, Çalı, Genç Orman, Yarı Olgun Orman ve Olgunlaşmaya Yakın Orman) ile gerçekleştirdiğimiz çalışmada yaş sınıflarına dayanan araştırma, benzer meşcere gelişim süreçlerini farklı bakış açılarıyla incelemektedir. Bitki örtüsü aşamaları olarak beş süksesyon aşaması kullanılmış olup, yaş sınıfları ile paralel olarak ilerlemektedir. Her iki çalışmada da bitki örtüsü yoğunluğu ve yaş ilerledikçe erozyon miktarlarının azaldığı gözlemlenmiştir. Lin vd. (2013)'de, "Doğal Çayır" aşamasında en yüksek erozyon miktarları gözlenirken, yaptığımız çalışmada düşük yaş sınıflarında benzer yüksek toprak kaybı miktarı ortaya konmuştur. İlerleyen aşamalarda ise, Lin vd. (2013)'in "Olgunlaşmaya Yakın Orman" aşamasında erozyon miktarlarının 0-5 ton/ha/yıl seviyelerine düşmesi, yaptığımız çalışmada ise X. yaş sınıfında önlenen erozyon miktarlarının en yüksek seviyeye çıkması, bu düşüncüyü doğrulamaktadır. Lin vd. (2013) bu çalışmada toprak kaybını daha genel bir perspektif ile değerlendirirken gerçekleştirdiğimiz çalışmada yaş sınıfları ile meşcere bileşenlerinin toprak kaybı üzerine etkisi analiz edilmiş olup meşcerelerin yaşlanmasıyla birlikte meşcere bileşenlerinin değişiminin toprak kaybı miktarı üzerindeki etkisi net şekilde ortaya konmaktadır (Tablo 28) (Tablo 8).

Tablo 28. Bitki örtüsü aşaması ile toprak kaybı ilişkisi (Lin vd., 2013)

Bitki Örtüsü Aşaması	Ağaç Boyu	Erozyon Miktarı (t/km ² ·a)
Doğal Çayır		1845.18
Çalılık		1456.24
Fidanlama sahası (Sırıklık çağında) (Gençlik sahası) (<i>P. yunnanensis</i>)	5–9 m	1245.61
Yarı olgun orman (<i>P. yunnanensis</i>)	8–14 m	891.78
Olgunlaşmaya yakın orman (<i>P. yunnanensis</i>)	12–17 m	341.71

4.1.2. Gelişme Çağlarına Göre Genel Çıktıların Tartışılması

Gelişme çağları ilerledikçe, göğüs yüzeyi ve hacimde artış gözlemlenmektedir. ab3 çağında 490 ağaç/ha ile başlayan ağaç sayısı, d3 çağına gelindiğinde 308 ağaç/ha'a düşmekte, hacim ise 20 m³/ha'dan 321 m³/ha'a ulaşmaktadır. Bu durum, ağaçların yaşlanmasıyla birlikte biyokütlenin arttığını göstermektedir. Genç gelişme çağlarında (ab1 ve ab2), toprak kaybı miktarları genel olarak yüksek seyrederken, her dört yöneme göre hesaplanan değerlerde benzer eğilimler gözlemlenmektedir. Bu durum, genç ormanların toprak stabilizasyonundaki zayıflığını doğrulamakla birlikte, genç ağaçların kök sistemlerinin henüz yeterince gelişmemiş olması, tepe çatısı alanının düşük olması gibi sebeplerle toprağı koruma kapasitesinin sınırlı olmasından kaynaklanabilir. Diğer çalışmalarda, bu aşamada daha düşük toprak kaybı gözlemlenmiştir, Vatandaşlar (2020) bu aşamada 29 ton/ha/yıl toprak kaybı rapor etmiştir. bc ve cd gelişme çağlarında toprak kaybı miktarları genel olarak azalmaktadır. Ancak Karaburun (2010) yönteminde bu azalma daha sınırlı kalmaktadır. cd1 aşamasında Karaburun (2010)'un verileri hala yüksek toprak kaybı (99 ton/ha/yıl) göstermektedir. Vatandaşlar (2020) ile bu aşamada toprak kaybını 25 ton/ha/yıl olarak hesaplanırken, Van der Kniff (1999) yöntemine göre ise 35 ton/ha/yıl olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, genç meşcereler daha yüksek toprak kaybına neden olurken, yaşlı meşcereler toprak kaybını önemli ölçüde azaltmaktadır (Tablo 9).

Sun vd. (2018) çalışmasına göre, toprak erozyonu ve su tutma kapasitesi, plantasyon türüne ve yaşına göre değişiklik göstermektedir. Yaşlı plantasyonların, genç plantasyonlara göre daha iyi erozyon kontrolü sağladığı ve su kaybını azalttığı tespit edilmiştir. Bu çalışma, erozyon kontrolü açısından Okaliptus türü hem genç, hem de olgun

plantasyonlarda diğer ağaç türlerinden daha etkili olduğunu göstermektedir. Özellikle, bu türün genç ve olgun plantasyonlarda yüzey akışını ve sediment yükünü azaltmada başarılı olduğunu belirtilmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmaya göre; gelişme çağıları ve ağaç türüne dayalı olarak yapılan toprak kaybı miktarı analizinde de benzer bulgular görülmektedir. Özellikle, gelişme çağıları (ab1, ab2 gibi) ile daha düşük ağaç sayısına sahip dönemlerde, toprak kaybı miktarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak ilerleyen gelişme çağılarında (c3, cd2, d2 gibi) toprak kaybı miktarının azaldığı ve önlenen toprak kaybı miktarının arttığı dikkat çekmektedir. Okaliptus türlerinin su tutma kapasitesi yüksek olduğundan, ilerleyen gelişme çağılarında toprak kaybını daha etkin şekilde azalttığı ve su erozyonunu kontrol ettiği anlaşılmaktadır. Özellikle Okaliptus ve karışık ormanlar, yüksek boyları sayesinde yüzey akışını azaltarak toprağın su tutma kapasitesini artırmıştır. Göğüs çapı büyük olan ağaçlar, toprağı daha geniş bir alanda kavrayarak erozyonun önlenmesine katkıda bulunur. Bu çalışmada, geniş göğüs çapına sahip olan Okaliptus ve karışık ormanlar, kök sistemleriyle toprağı sıkıca kavrayarak yüzey erozyonunu engellemiştir. Göğüs çapı büyük olan ağaçlar, toprağı fizyolojik olarak desteklemekte ve yağmurun toprak yüzeyine etkisini azaltarak toprak partiküllerinin taşınmasını engellemektedir. Çalışma, tür çeşitliliğinin artırılmasının, yüksek biyokütle üretiminin ve ölü örtü miktarının korunmasının, toprak erozyonunu kontrol altına almak için kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir. Karışık ormanlar, yüksek çeşitlilik ve yoğun ölü örtü ile toprağı etkin bir şekilde korurken, monokültür plantasyonlar daha sınırlı koruyucu etkiler göstermiştir (Tablo 9) (Tablo 29).

Tablo 29. Plantasyon türlerine göre toprak kaybı miktarları (Sun vd. 2018)

Plantasyon Türleri	Erozyon Miktarı (ton/ha/yıl)	Yaş (yıl)	Eğim (%)	Boy (m)	Göğüs Çapı (cm)
Karışık Orman (M1) (10 Tür)	1.2	10	10	20	32
30 Tür Karışık Orman (M2)	1.0	12	8	22	34
Okaliptus Monokültür Plantasyonu (EU1)	2.5	10	15	25	35
Akasya Monokültür Plantasyonu (AC)	1.8	8	12	18	30
Kestane Monokültür Plantasyonu (CH)	1.7	9	13		

Mısır vd. (2012), yaptıkları çalışmada, ortalama çap için kurulan model en iyi sonucu vermiştir. Bu çalışmada da, ortalama çap ile önlenen erozyon miktarı arasında bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Mısır vd. (2012) yaptığı çalışma ile bu çalışma; yaş sınıfları, yaş ve kapalılık yönünden önemli farklar ve benzerlikler göstermektedir. Mısır vd. (2012) yaptıkları çalışmada, ormanların erozyonu önleme kapasitelerinin yaş sınıflarına bağlı olarak değiştiği vurgulanmıştır. Genç yaş sınıflarında; ağaç sayısı, göğüs yüzeyi ve hacim düşük seviyelerde olup, bu alanlar yüksek erozyon riski taşımaktadır. Bu durum, tabloda I. yaş sınıfındaki yüksek erozyon miktarları (35 ton/ha/yıl) ile örtüşmektedir. Kapalılığın artmasıyla, özellikle daha olgun yaş sınıflarında, göğüs yüzeyi ve hacimdeki artışın erozyon miktarını önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir. Örneğin, bu çalışmada X. yaş sınıfında önlenen erozyon miktarları 569 ton/ha/yıl gibi yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu sonuçlar, Mısır vd. (2012) tarafından belirtilen orman yapısının erozyonu önlemedeki etkinliğini desteklemektedir. Her iki çalışma da, ağaç sayısının ve göğüs çapının artmasının toprak kaybı miktarını azaltıcı bir etkisi olduğunu ve bu faktörlerin planlamada dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Ormanların yaşlandıkça daha fazla toprak kaybı önleme kapasitesine sahip olduğu bulgusu her iki çalışmada da desteklenmektedir.

Nguyen vd. (2020) ve yaptığımız çalışmada sunulan veriler, farklı süksesyonlardaki ormanların, ağaç boyutları ve gelişim çağlarının toprak kaybı miktarları üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. Nguyen vd. (2020) yaptıkları çalışmada, orman yapısı ve ağaç boyutlarının toprak kaybı üzerindeki etkilerini çap ölçümlerine göre değerlendirilmiştir. Genç orman yapısında, küçük çaplı ağaçlar (0-10 cm), 15-20 ton/ha/yıl toprak kaybı miktarına, orta çaplı ağaçlar (10-30 cm), 10-15 ton/ha/yıl toprak kaybı miktarına neden olduğu bildirilmiştir. Bu bulgular, genç orman yapısının ve küçük çaplı ağaçların toprağı koruma kapasitesinin sınırlı olduğunu göstermektedir. Yaşlı ve karışık ormanlarda ise büyük çaplı ağaçlar (30 cm ve üzeri) en düşük seviyelere (0-5 ton/ha/yıl) çekmektedir. Dolayısıyla, büyük çaplı ve daha yaşlı ağaçların toprağı daha etkili şekilde koruyarak, toprak kaybını önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmada ise, gelişme çağları (b, c, d sınıfları) ve eğim gruplarının erozyon miktarları üzerindeki etkisi değerlendirildiğinde; gelişme çağlarının ilerlemesiyle çap ve hacmin artarken, ağaç sayısının azaldığını ve buna bağlı olarak toprak kaybı miktarlarının düştüğünü göstermektedir. b gelişme çağında yüksek ağaç sayısı ve düşük göğüs yüzeyi ile ilişkili olarak, toprak kaybı miktarları genellikle daha yüksektir. Ancak, d gelişme çağında, daha az ağaç olmasına rağmen göğüs yüzeyi ve hacim artışına paralel olarak toprak kaybı

miktarlarının belirgin şekilde azaldığı gözlemlenmektedir. Bu durum, gelişme çağlarının ilerlemesiyle ormanın yapısal olarak daha karmaşık hale gelmesi, toprak stabilitesinin artması ve toprak kaybın kontrol altına alınmasıyla açıklanabilir. Sonuç olarak, her iki çalışma da gelişme çağlarının ilerlemesiyle ormanın toprağı koruma kapasitesinin arttığını ve toprak kaybı miktarının azaldığını net bir şekilde ortaya koymaktadır (Tablo9) (Tablo 30).

Tablo 30. Ormanların toprak kaybı üzerine etkisi (Nguyen, 2020)

Orman Yapısı Sınıfları	Ağaç Boyutları Sınıfı	Çap Aralığı (cm)	Erozyon Miktarı (ton/ha/yıl)
Genç Orman	Küçük Çaplı Ağaçlar	0-10	15-20
	Orta Çaplı Ağaçlar	10-30	10-15
Yaşlı Orman	Orta Çaplı Ağaçlar	10-30	5-10
	Büyük Çaplı Ağaçlar	30+	0-5
Karışık Yapılı Orman	Küçük Çaplı Ağaçlar	0-10	15-20
	Orta Çaplı Ağaçlar	10-30	10-15
	Büyük Çaplı Ağaçlar	30+	5-10

- Tam Kapalı Meşcerelerde Genel Çıktıların Gelişme Çağına Göre Tartışılması

Tam kapalı ormanlar hem tepe çatısının büyüklükleri, hem de meşcere bileşenlerinin yüksek değerleri doğrultusunda toprak kaybını önlemede en etkili meşcere yapılarını oluşturmaktadır. Meşcere bileşenlerinin ulaştığı en yüksek değerler, birim alanda yüksek göğüs yüzeyi ve hacim değeri meşcerenin toprak kaybı miktarını önlemedeki en etkili etkenler arasındadır. 1 ve 2 kapalı meşcerelerdeki homojen yapıya göre daha fazla homejenite göstermesi, tepe çatısının toprağı örtmesiyle beraber yağmurun ve şiddetinin doğrudan toprağı ulaşmasına engelleyerek aşındırma olayın azalması, gövde ve dallardan yağmur suyunun süzülerek minimum aşındırma gücüyle toprakla buluşması toprak kaybı miktarına doğrudan etki etmektedir. Yağışın süresi ve şiddeti ne olursa olsun tepe çatısı gövde kalınlığı toprak katmanı ile yağmur arasındaki doğrudan iletişimi engellemektedir (Tablo 10).

4.1.3. Eğim Gruplarına Göre Genel Çıktıların Tartışılması

Eğim grupları ile toprak kaybı arasındaki ilişki irdelendiğinde; eğim arttıkça toprak kaybı miktarının genel olarak arttığı, ancak yöntemler arasında belirgin farklılıklar bulunduğu görülmektedir. Vatandaşlar (2020) yönteminde eğim gruplarına göre toprak kaybı miktarının kademeli olarak arttığı gözlemlenmiştir. Özellikle 7 ve 8. eğim gruplarında belirgin toprak kaybı gözlemlenmiştir. De Jong (1994) çalışmasına göre hesaplanan değerlerde bazı eğim gruplarında negatif değerler raporlanmıştır. Benzer şekilde, Van der Kniff (1999) yöntemine göre hesaplanan değerlerde, eğim gruplarına göre daha dengeli toprak kaybı dağılımı görülürken, özellikle 8. eğim grubunda toprak kaybının maksimum düzeye ulaştığı belirlenmiştir. Karaburun (2010)'a göre hesaplanan çıktılarda özellikle yüksek eğim gruplarında belirgin bir artış gözlenmiştir. Eğim artışı ile önlenen toprak kaybı miktarlarının da artışla birlikte artmaktadır. Özellikle, en dik eğim gruplarında (8-10. gruplar), önlenen toprak kaybı miktarları dikkat çekici derecede yüksek değerler almaktadır. Bu durum, dik eğimlerin erozyon açısından daha riskli olduğunu ve bu alanlarda önleme tedbirlerinin daha fazla önem kazandığını göstermektedir.

Kateb vd. (2012) yılında Çin'in güneyinde Shaanxi Eyaleti'ndeki Qinling Dağları'nda farklı bitki örtüsü türleri ve eğim gruplarının toprak kaybı ve yüzey akışı üzerindeki etkilerini değerlendirmek için saha deneyi yöntemi kullanmışlardır. Deneyler, 7 m² büyüklüğündeki 33 küçük erozyon parseli üzerinde gerçekleştirilmiştir. Farklı bitki örtüsü türleri ve eğim gruplarına göre toprak erozyonu ve yüzey akışı miktarları karşılaştırılmıştır. Bitki örtüsünün ve eğimin erozyon üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Kateb vd. (2012) yaptıkları çalışma ve gerçekleştirilen bu çalışmada, eğim, bitki örtüsü ve toprak erozyonu arasındaki ilişkiyi farklı perspektiflerden inceleyerek önemli sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu iki çalışma, eğim ve bitki örtüsünün toprak kaybı üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak değerlendirme fırsatı sunmaktadır. Kateb vd. (2012) çalışmasında, eğim grupları (hafif, orta ve dik) ve bitki örtüsünün (tarım arazileri, bahçecilik alanları, otlaklar, alçak ve yüksek ormanlık alanlar) toprak kaybı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, eğim arttıkça yüzey akışı ve toprak kaybı miktarı belirgin bir şekilde artış göstermektedir. Ayrıca, farklı bitki örtüsünün toprak kaybına etkisi önemli ölçüde değişmektedir. Ormanlık alanların erozyonu azaltma kapasitesi en yüksek iken, tarım ve bahçecilik alanlarında toprak kaybı en yüksek düzeyde gözlemlenmiştir. Bu durum, bitki örtüsünün toprak kaybı kontrolünde kritik bir role sahip olduğunu vurgulamaktadır.

Gerçekleştirilen bu çalışmada ise, farklı eğim gruplarında toprak kaybı ve önlenen toprak kaybı miktarları değerlendirilmiştir. Eğim arttıkça toprak kaybının belirgin bir şekilde arttığı, buna karşın önlenen toprak kaybı miktarlarının da eğimle birlikte artış gösterdiği dikkat çekmektedir. Bu, eğimin erozyon üzerindeki etkisinin yanı sıra, uygun önlemler alındığında bu kaybın önemli ölçüde azaltılabileceğini göstermektedir. Her iki çalışmanın sonuçları, eğim, bitki örtüsü ve toprak kaybı arasındaki ilişkilerin karmaşık ve çok boyutlu olduğunu ortaya koymaktadır. Kateb vd. (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, özellikle ormanlık alanların su ve toprak koruma açısından uygunluğu vurgulanırken, çalışmamızda eğimin erozyon üzerindeki etkisi ve bu etkinin önlenmesi için alınan tedbirlerin potansiyeli ele alınmıştır. Dolayısıyla, eğim ve bitki örtüsü gibi faktörlerin birlikte değerlendirilmesi, erozyon kontrolü ve toprak koruma stratejileri geliştirilirken göz önünde bulundurulması gereken temel unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır (Tablo 11) (Tablo 31).

Tablo 31. Bitki örtüsü türleri ile toprak kaybı miktarları arasındaki ilişki (Kateb vd., 2012)

Bitki Örtüsü Türü	Eğim Grubu	Erozyon Miktarı (ton/ha/yıl)
Tarım Arazileri (Yaz mısırı ve Kış buğdayı)	Hafif Eğim ($>10^{\circ}-\leq 20^{\circ}$),	64.38 t/ha
	Orta Eğim ($>20^{\circ}-\leq 30^{\circ}$)	78.52 t/ha
Bahçecilik Alanı (Çay Plantasyonu ve Yer Fıstığı)	Orta Eğim ($>20^{\circ}-\leq 30^{\circ}$),	78.52 t/ha
	Dik Eğim ($>30^{\circ}-\leq 40^{\circ}$)	53.12 t/ha
Otlaklar (<i>Imperata cylindrica</i> , <i>Bidens pilosa</i> , <i>Erigeron annuus</i>)	Dik Eğim ($>30^{\circ}-\leq 40^{\circ}$)	53.12 t/ha
Meşe Baltalığı	Hafif Eğim ($>10^{\circ}-\leq 20^{\circ}$)	12.47 t/ha
Plantasyon (Çam)	Orta Eğim ($>20^{\circ}-\leq 30^{\circ}$)	8.35 t/ha

4.1.4. Bakı Gruplarına Göre Genel Çıktıların Tartışılması

Gölgeli ve güneşli bakı grupları arasındaki ağaç sayısı, göğüs yüzeyi ve hacim açısından benzer değerlere sahip olmalarına rağmen, toprak kaybı miktarlarında belirgin farklılıkların gözlemlenmesidir. Çalışmada farklılıklar gözlemlense de, genel olarak gölge yönlü alanlarda önlenen toprak kaybı miktarlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, bakı yönü, toprak kaybı ve önlenen toprak kaybı üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir (Tablo 12).

4.2. Karaburun (2010) 'a Göre Hesaplanan Toprak Kaybı Değerlerinin Yaş Sınıfları Kapsamında Tartışılması

4.2.1. Yaş sınıfı- Kapalılık

Meşcerelerin yaşlarına göre değişen kapalılık yüzdeleri, toprak kaybının önlenmesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Meşcerelerin yaşları arttıkça, ağaçların kök sistemleri gelişmekte, bitki örtüsü yoğunlaşmakta ve yağışın yüzey akışını engelleyerek erozyonun önlenmesini sağlamaktadır. Genç yaş sınıfları ve düşük kapalılık seviyesinde, toprak koruma açısından yetersiz kalmaktadır. Örneğin, II. yaş sınıfında gevşek (1) kapalılıkta 257 ton/ha/yıl, III. yaş sınıfında ise 279 ton/ha/yıl önlenen toprak kaybı miktarı hesaplanmıştır. II. yaş sınıfında 345 ton/ha/yıl toprak kaybı önlenirken, VI. yaş sınıfında bu değer 567 ton/ha/yıl'a, IX. yaşta 615 ton/ha/yıl'a ve X. yaşta 682 ton/ha/yıl'a ulaşmıştır. 3 kapalılığa sahip meşcerelerde ise özellikle VI. yaş sınıfında 596 ton/ha/yıl, VII. yaşta 595 ton/ha/yıl toprak kaybının önlenmesi ile güçlü bir performans göstermektedir. Genel olarak, VI-X yaş sınıfı aralığı, orta ve yüksek kapalılık seviyeleri ile toprak kaybının en etkin şekilde önlendiği dönemdir. 3 kapalı meşcereler VI ve VII. yaş sınıfında, 2 kapalı meşcereler IX. ve X. yaş sınıfında ve 1 kapalı meşcerelerde IX. yaş sınıfında en yüksek korumayı sağlamaktadır. Genel olarak 2 ve 3 kapalı meşcereler VI. yaş sınıfından sonra, 1 kapalı meşcerelerde ise IX. yaş sınıfında yüksek koruma değerleri görülmektedir. 2 kapalı ve 3 kapalı meşcerelerde IV. ve V. yaş sınıflarından sonra, 1 kapalı meşcerelerde VI. yaş sınıfından sonra önlenen toprak koruma miktarı artmakta olup, bu yaş sınıflarından sonra eğimin etkisi daha fazla belirginleşmektedir. Her yaş sınıfı kendi içinde değerlendirildiğinde, tam kapalı ormanlarda toprak korumanın daha fazla olduğu görülmektedir. Meşcereleri büyütürken, her yaş sınıfından bir üst yaş sınıfa geçirilirken yapılan silvikültürel müdahalelerle kapalılık parametresinin tam kapalıya geçiş sağlayacak şekilde planlamalı ve müdahale edilmelidir. Sonuç olarak, yaş ilerledikçe ormanların kapalılık seviyelerinin artması, erozyon önleme kapasitesini önemli ölçüde artırmaktadır.

Lin vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada, fidan aşamasından olgunlaşmaya yakın ormanlara geçişle birlikte erozyon miktarının azaldığını ortaya koyarken, gerçekleştirdiğimiz bu çalışmada, yaş sınıflarıyla birlikte kapalılığın toprak kaybı miktarı üzerindeki etkilerini de göstermektedir. Her iki çalışmada da bitki örtüsü yoğunluğunun (kapalılık) toprak koruma üzerindeki etkilerine odaklanılmaktadır. Lin vd. (2013) tarafından, olgunlaşmaya yakın ormanlarda erozyon miktarı 341,71 t/km²/yıl olarak

kaydedilirken, çalışmamızda VII. ve VIII. yaş sınıflarındaki tam kapalılıkta (595-596), toprak koruma açısından kritik öneme sahiptir. Her iki çalışma da ormanların yaşlanması ve kapalılık artışı ile toprak koruma arasında bir ilişki olduğunu göstermektedir. Lin vd. (2013) çalışmasında, bitki örtüsünün olgunlaşması ile erozyonun azaldığı gösterilirken, gerçekleştirilen bu çalışmada, yaşla birlikte artan kapalılığın erozyon kontrolünü önemli ölçüde iyileştirdiği görülmüştür. Bu bulgular, meşcere yapılarının toprak koruma açısından taşıdığı önemi vurgulamaktadır. Her iki çalışmadan elde edilen veriler, planlama stratejilerinde kapalılık ve meşcere yaşı gibi bileşenlerin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir (Tablo 14) (Tablo 32).

Tablo 32. Bitki örtüsü aşamalar ve kapalılık ile toprak kaybı ilişkisi (Lin vd., 2013)

Bitki Örtüsü Aşaması	Kapalılık (%)	Erozyon Miktarı (t/km ² ·a)
Doğal Çayır		1845.18
Çalılık		1456.24
Fidanlama sahası (Sırlıklık çağında) (Gençlik sahası) (<i>P. yunnanensis</i>)	50	1245.61
Yarı olgun orman (<i>P. yunnanensis</i>)	65	891.78
Olgunlaşmaya yakın orman (<i>P. yunnanensis</i>)	70+	341.71

4.2.2. Yaş Sınıfı - Bonitet

Yaş sınıfları ve bonitet değerlerinin analizi, meşcerelerin yetiştirme koşulları arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Genel olarak I. bonitette her zaman en yüksek seviyede önleme miktarı gerçekleştiği görülmektedir. Yaş sınıflarına göre bonitetlerde önlenen toprak kaybı miktarı değerlerinde dalgalanmalar görülmesine rağmen, bir biriden bariz şekilde ayrılmaktadır. VII. ve IX. yaş sınıflarında I. bonitet değeri, ileri yaşlarda II. bonitette VI. yaş sınıfı değeri ve III. bonitette IX. yaş sınıfı değerleri, bu yaşlarda en yüksek koruma sağlandığını göstermektedir. Bu veriler, planlamada yüksek bonitet alanlarına öncelik verilmesi gerektiğini vurgularken, düşük bonitet alanlarında daha dikkatli olunması gerektiğini ortaya koymaktadır. Toprak koruma işletme sınıfları belirlenirken ortalama bonitet değeri kullanılmakta olup, bu değer toprak kaybıyla ilişkisi de değerlendirilmelidir (Tablo 15).

- Tam Kapalı Meşcerelerde Yaş Sınıfı - Bonitet

Tam kapalı meşcerelerde de yaş sınıfı ve bonitet değerlerine göre bonitetler arasında önlenen toprak kaybı miktarları dalgalı bir trend gösterebilir de, birbirlerinden açık şekilde ayrılmaktadır. I. bonitet meşcereler en yüksek seviyede toprak koruma sağlamaktadır. Yaş sınıfları artışına bağlı olarak önlenen toprak koruma miktarları artış göstermektedir. I. bonitette, VII. yaş sınıfından sonra bir azalış meydana gelmektedir. II. ve III. yaş sınıfında ise VI. yaş sınıfından sonra azalma meydana gelmektedir. Bu yaş sınıfları bonitetlere göre değişim noktaları olarak değerlendirilip, idare süresi olarak değerlendirilebilir (Tablo 16).

4.2.3. Yaş Sınıfı – Gelişme Çağı

Genel olarak d gelişme çağı, her ne kadarda yaş sınıflarına göre dalgalı bir trend izlese de, yüksek düzeyde toprak koruma sağlamaktadır. c gelişme IV. yaş sınıfından sonra genel olarak azalış içerisindedir. Burada IV. yaş sınıfından (60-80 yıl) sonra d gelişme çağına çıkarılacak ağaçlar için silvikültürel tedbir alınmalıdır. b gelişme çağının V. yaş sınıfından sonra bulunmaması normal olup, III. yaş sınıfından sonra c gelişme çağına ilerletecek silvikültürel çalışmalar yapılmalıdır. Burada I. yaş sınıfında ve d gelişme çağına veri olması durumu; örnek alanlardan 3 adedinin meşcerenin d gelişim çağına olması fakat düştüğü bölmecik katmanının 1. yaş sınıfında olmasından kaynaklanmaktadır. Kalın çaplı meşcerelerin ince çaplılara göre toprak korumada daha etkili olduğu anlaşılmakta olup, yaş sınıflarına göre gelişme çağlarının ilerlemesi silvikültürel planlamalarla sağlanarak en yüksek toprak koruma hedeflenmelidir.

Wei vd. (2021), Çin'in kuzey batısında bulunan Loess platosundaki Ansai havzasında, yeşil için tahıl projesi (GrainforGreen Project (GGP) kapsamında yaptıkları çalışmada; 2000 yılından 2015 yılına kadar geçen sürede 7 ayrı sınıfta (Ormanlık Alan (Arboreal Land), Çalılık Alan (Shrub Land), Çayırılık Alan (Grassland), Tarım Alanı (Farmland), İnşaat Alanı (Construction Land), Su Alanı (Water Land), Çöl Alanı (Desert Land)) arazi değişimlerini ve toprak kaybı miktarlarını çalışmışlardır. Yoğun bitki örtüsü restorasyonu sayesinde, artan bitki örtüsü yoğunluğu ve biyokütle ile birlikte, sık bitki örtüsünün ormanlık alanlardaki etkili yağışı azalttığı, yağış ve yüzey akışı süresini uzattığını ve yağmur damlalarının kinetik enerjisini kestiğini belirlemişlerdir. Yüzeydeki malç tabakası, yüzey akışının kinetik enerjisini dağıtarak erozyonu önlemiştir. Ayrıca,

karmaşık bitki kök sistemi, toprak akış erozyonuna karşı direnci artırarak bölgesel toprak ve su koruma faydalarını etkin bir şekilde güçlendirmiş ve toprak erozyonu koşullarını iyileştirmiştir. Toprak erozyonundaki mekansal farklılaşma, bitki örtüsü restorasyonunun erozyon üzerindeki olumlu etkisini net biçimde göstermiştir. Ansai havzasının güneydoğu ve güneyinde, bitki örtüsü restorasyonu aktif olarak yürütülmüş ve arazi kullanım değişiklikleri oldukça belirgin olmuştur. Bu değişiklikler, tarım arazilerinin çayırılık, çalılık ve ormanlık alanlara, çayırılık alanların ise çalılık ve ormanlık alanlara dönüştürülmesini içermiştir. Bu bölgedeki yoğun bitki örtüsü restorasyonu, toprak ve su koruma faydalarını güçlendirerek toprak erozyonu koşullarını büyük ölçüde iyileştirmiştir. Yaş sınıfı ilerledikçe gelişme çağı artmış, çapın artmasıyla da gelişim çağı ilerlemiş, meşcere hacminde artış meydana getirmiştir. Nihayetinde ise toprak kaybını azalmaktadır.

- Tam Kapalı Meşcerelerde Yaş Sınıfı – Gelişme Çağı

VII. yaş sınıfında d gelişme çağında önlenen toprak koruma miktarı en yüksek değerlere ulaşmaktadır. c gelişme çağında ise IV. ve V. yaş sınıflarında en yüksek toprak koruma miktarlarına sahiptir. b gelişme çağında ise I., II. ve III. yaş sınıflarında önlenen toprak koruma sağlamaktadır. Bu durumda meşcerelere ilk 3 yaş sınıfında b çağında, IV ve V. yaş sınıflarında c gelişme çağına, VI ve VII. yaş sınıfında ise d gelişme çağında en yüksek toprak koruma sağlanmaktadır. VII. Yaş sınıfında b gelişme çağında 1 adet b gelişme çağına denk gelen örnek alan bulunmaktadır. Buda VII yaş sınıfında yüksek miktarda erozyon önleme kapasitesi göstermektedir (Tablo 18).

4.2.4. Yaş Sınıflarına Tam Kapalı Meşcerelerde Göre Aktüel-Optimal Karşılaştırması

I. bonitette aktüel – optimal değerlendirilmesinde; II. yaş sınıfında aktüel ağaç sayısı, optimal hedefin yaklaşık 600 adet/ha altında gözlemlenmiştir. Bu da genç yaş sınıfında olması gereken ağaç miktarının sağlanamadığını göstermektedir. III. yaş sınıfında fark azalmakta, ancak yine de aktüel değer optimalin altında kalmakta, IV. yaş sınıfından itibaren, aktüel ağaç sayısı optimalin üzerine çıkarak optimal seviyeyi aşmakta ve yaş ilerledikçe bu fark artmaktadır. II. yaş sınıfında aktüel göğüs yüzeyi optimal değerinin altında kalmakta, bu da meşcere göğüs yüzeyinin azlığına bağlı olarak büyüme alanının düşük olduğunu göstermektedir. IV. yaş sınıfından itibaren, göğüs yüzeyi optimal seviyeyi

yakalamakta, aktüel değerler optimal değerlerden fazla olarak devam etmektedir. Göğüs yüzeyi, genç yaşlarda optimal değer altında kalmaktadır, ancak orta yaşlarda (özellikle VI. ve VII. yaş sınıflarında) optimal değer üzerine çıkmaktadır. VII. yaş sınıfından sonrada dalgalı bir azalma trendine girmektedir. II. yaş sınıfında aktüel hacim, optimalden yaklaşık 125 m³/ha daha düşük belirlenmiştir. Bu da genç yaşlardaki hacim büyüme hedefinin karşılanamadığını göstermektedir. IV. yaş sınıfında fark azalmakta ve VI. yaş sınıfında aktüel hacim optimalin yaklaşık 75 m³/ha üzerine çıkmaktadır. VII. yaş sınıfından sonrada dalgalı bir azalma trendine girmektedir. II. ve III. yaş sınıflarında ağaç sayısı, göğüs yüzeyi ve hacim gibi tüm değerlerde optimal hedeflere ulaşamadığı tespit edilmiştir. IV ila VII yaş sınıflarında aktüel değerlerin optimal seviyeyi aşmaya başladığı görülmektedir. Özellikle VI. ve VII. yaş sınıflarında göğüs yüzeyi ve hacimde belirgin artış görülmektedir. VIII. yaş sınıfında ise aktüel değerler optimal seviyenin altına düşmekte, VII. yaş sınıfından sonra göğüs yüzeyi ve hacim değerleri azalmaktadır. Bunun yanında önlenen toprak kaybı miktarıda VII. yaş sınıfından sonra azalmaktadır (Tablo 33).

Tablo 33. Tam kapalı ve I. bonitet sınıfındaki meşcerelerin aktüel –optimal karşılaştırılması

Yaş Sınıfı	Yaş aralığı	Orta Yaş	OPTİMAL			AKTÜEL			Önlenen Erozyon Miktarı (ton/ha/yıl)
			Ağaç Sayısı (Adet/ha)	Göğüs Yüzeyi (m ² /ha)	Hacim (m ³ /ha)	Ağaç Sayısı (Adet/ha)	Göğüs Yüzeyi (m ² /ha)	Hacim (m ³ /ha)	
I	0-20	10				367	18,41	181,77	601
II	20-40	30	1408	25,87	183,60	821	17,57	111,78	637
III	40-60	50	588	30,24	234,05	536	24,80	183,14	493
IV	60-80	70	322	30,62	269,90	464	32,67	252,06	775
V	80-100	90	237	29,96	287,15	397	32,96	271,81	570
VI	100-120	110	201	29,23	293,55	395	40,10	357,61	699
VII	120-140	130	185	28,48	293,50	407	40,61	359,35	1057
VII	140-160	150	179	27,7	287,55	500	21,68	159,58	994
IX	160-180	170				600	37,91	301,45	453
X	180-200	190							

II. bonitette aktüel – optimal değerlendirilmesi yapıldığında; II. yaş sınıfında, aktüel ağaç sayısının optimal değerden yaklaşık 1000 adet/ha daha az olduğu görülmektedir. Bu da, genç yaşlarda ağaç yoğunluğunun istenilen seviyede olmadığını göstermektedir. III. yaş sınıfından itibaren bu fark azalmaya başlamakta ve VI. yaş sınıfında aktüel ağaç sayısı optimal seviyeye yaklaşmaktadır. VII. ve VIII. yaş sınıflarında ise aktüel ağaç sayısı optimal değerın üzerine çıkarak pozitif fark oluşturmaktadır. II. yaş sınıfında göğüs yüzeyi aktüel olarak optimal değerden yaklaşık 8 m²/ha daha düşüktür. Bu fark yaş ilerledikçe kapanmakta ve V. yaş sınıfında aktüel değer optimalin üzerine çıkmaktadır. VII. yaş sınıfında yeniden düşüş görülmektedir. II. ve III. yaş sınıflarında aktüel hacmin, optimal değerden sırasıyla yaklaşık 40 m³/ha ve 50 m³/ha daha düşük olduğu görülmektedir. Bu fark V. yaş sınıfında kapanarak aktüel değer optimalin üzerine çıkmaktadır. VI. yaş sınıfında en yüksek pozitif fark (yaklaşık 70 m³/ha) gözlemlenmekte, ardından VII. yaş sınıfında tekrar düşerek optimalin altına inmektedir (Tablo 34).

Tablo 34. Tam kapalı ve II. bonitet sınıfındaki meşcerelerin aktüel –optimal karşılaştırılması

Yaş Sınıfı	Yaş aralığı	Orta Yaş	OPTİMAL			AKTÜEL			Önlenen Erozyon Miktarı (ton/ha/yıl)
			Ağaç Sayısı (Adet/ha)	Göğüs Yüzeyi (m ² /ha)	Hacim (m ³ /ha)	Ağaç Sayısı (Adet/ha)	Göğüs Yüzeyi (m ² /ha)	Hacim (m ³ /ha)	
I	0-20	10				541	11,71	67,74	244
II	20-40	30	1760	23,00	126,70	738	15,46	91,98	466
III	40-60	50	786	28,54	181,44	649	21,03	139,43	483
IV	60-80	70	421	28,97	204,63	482	26,28	187,48	498
V	80-100	90	290	28,38	216,00	471	30,93	239,75	506
VI	100-120	110	234	27,77	219,12	386	33,51	286,56	640
VII	120-140	130	209	27,12	218,46	457	26,96	210,10	543
VIII	140-160	150	200	26,48	215,84	638	29,47	205,17	560
IX	160-180	170							
X	180-200	190							

Genç yaş sınıflarında, özellikle II. yaş sınıfında, aktüel ağaç sayısı optimalin oldukça altında kalmaktadır. III. yaş sınıfında bu fark azalmakla birlikte, optimal seviyenin altında seyretmektedir. Orta yaşlara yaklaştıkça, aktüel ve optimal ağaç sayıları arasındaki fark giderek azalmaktadır. Özellikle V. ve VI. yaş sınıflarında aktüel ağaç sayısı optimal değere daha yakın hale gelmektedir. Genç yaşlarda göğüs yüzeyi açısından aktüel değerlerin optimalin oldukça altında olduğu görülmektedir. II. yaş sınıfında optimal göğüs yüzeyi 18,81 m²/ha iken, aktüel değer 10,84 m²/ha'dır. Genç yaşlarda ağaç sayısı eksik olduğunda, doğal olarak göğüs yüzeyi de düşük kalır, çünkü gövde çaplarının genişleyebilmesi için yeterli yoğunluk ve rekabet yoktur. Orta yaş sınıflarında göğüs yüzeyi değerleri optimal değere yaklaşmakta ve VI. yaş sınıfında optimal değerine çıkmaktadır. VI. yaş sınıfında, aktüel göğüs yüzeyi 30,85 m²/ha ile optimal değer 5 m²/ha üzerindedir. İleri yaşlarda göğüs yüzeyi değerleri, optimal değere yakın bir seviyede seyretmekte, VII. yaş sınıfından sonra azalma görülmektedir. Genç yaşlarda aktüel hacim değerlerinin optimalin oldukça altında olduğu gözlemlenmektedir. Özellikle II. yaş sınıfında optimal hacim 97.6 m³/ha iken, aktüel hacim 57.4 m³/ha seviyesinde olduğu görülmektedir. Bu fark, genç ağaçların yeterli büyüme sağlayamadığını veya yoğunluk eksikliğinden dolayı daha düşük hacme sahip olduklarını göstermektedir. Orta yaşlarda hacim değerleri önemli ölçüde artmakta ve VI. yaş sınıfında aktüel hacim optimal değerine oldukça üzerine çıkmaktadır. VI. yaş sınıfında optimal hacim 154,09 m³/ha iken, aktüel hacim 222,02 m³/ha olarak belirlenmiştir. VII. ve VIII. yaş sınıflarında hacim değeri tekrar düşmekte ve optimal seviyenin altına inmektedir. VIII. yaş sınıfında optimal hacim 151,85 m³/ha iken, aktüel hacim 108,62 m³/ha olarak görülmektedir. Önlene erozyon miktarları, genel olarak yaş sınıflarına göre değişiklik göstermektedir. VI. yaş sınıfında önlene erozyon miktarı en yüksek değerde (445 ton/ha/yıl) iken, daha genç yaşlarda bu miktar daha düşüktür (Tablo 35).

Tablo 35. Tam kapalı ve III. bonitet sınıfındaki meşcerelerin aktüel –optimal karşılaştırılması

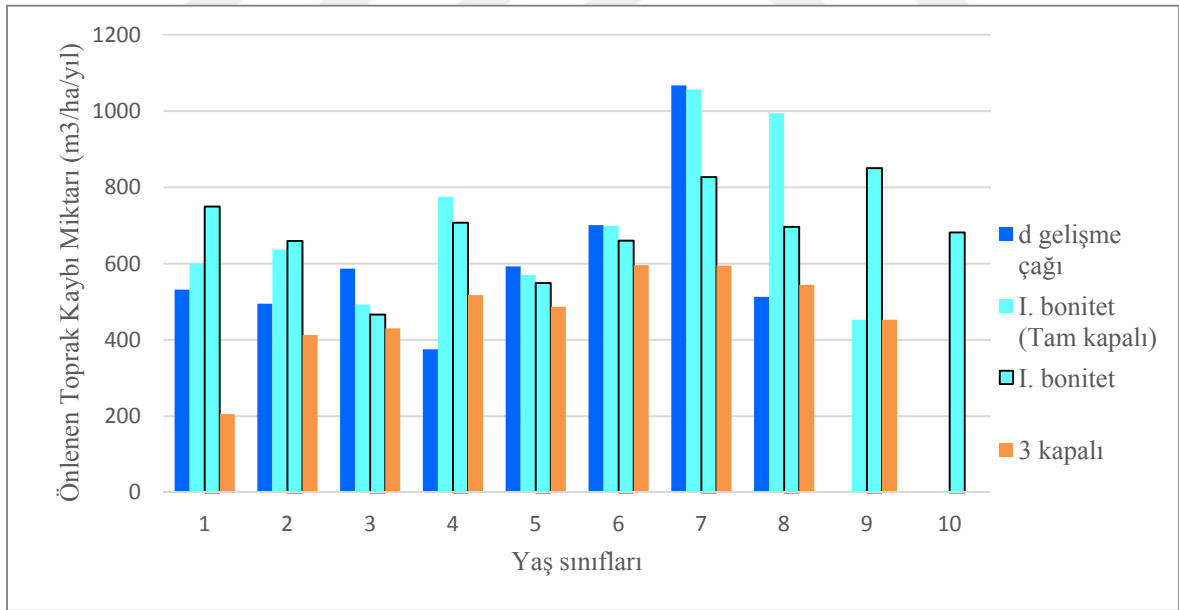
Yaş Sınıfı	Yaş aralığı	Orta Yaş	OPTİMAL			AKTÜEL			Önlenen Erozyon Miktarı (ton/ha/yıl)
			Ağaç Sayısı (Adet/ha)	Göğüs Yüzeyi (m ² /ha)	Hacim (m ³ /ha)	Ağaç Sayısı (Adet/ha)	Göğüs Yüzeyi (m ² /ha)	Hacim (m ³ /ha)	
I	0-20	10				483	6,21	26,28	37
II	20-40	30	2348	18,81	97,60	654	10,84	57,40	263
III	40-60	50	1068	25,10	135,46	712	18,92	110,75	291
IV	60-80	70	565	26,40	148,90	477	26,01	184,73	432
V	80-100	90	359	26,05	153,40	386	23,22	172,00	407
VI	100-120	110	274	25,65	154,09	399	30,85	222,02	445
VII	120-140	130	235	25,23	152,89	528	28,51	201,67	309
VIII	140-160	150	216	24,79	151,85	480	20,81	108,62	459
IX	160-180	170							
X	180-200	190							

4.2.5. Karaburun (2010)'a Göre Hesaplanan Toprak Kaybı Değerlerinin Yaş Sınıfları Kapsamında Değerlendirilmesi

Yaş sınıfları genel olarak irdelendiğinde tam kapalı ve I. bonitet meşcereler, d gelişme çağında meşcereler, I. bonitet meşcereler ve 3 kapalı meşcerelere yaş sınıfları itibari ile birlikte değerlendirildiğinde; VII. yaş sınıfında en yüksek miktarda önlenen toprak kaybına ulaşıldığı ve bu yaş sınıfından sonra bu değerin giderek azaldığı anlaşılmaktadır (Tablo 36) (Şekil 37).

Tablo 36. Yaş sınıflarına göre bazı meşcere bileşenlerinin önlenen toprak kaybı değerleri (ton/ha/yıl)

Yaş Sınıfları	d gelişme çağı	Tam kapalı I. bonitet	I. bonitet	3 kapalı
I	532	601	750	205
II	495	637	660	413
III	587	493	466	430
IV	375	775	707	517
V	593	570	549	487
VI	701	699	661	596
VII	1068	1057	827	595
VIII	513	994	696	545
IX		453	851	453
X			682	
Genel Toplam	4864	6279	6849	4242



Şekil 37. Yaş sınıflarına göre bazı meşcere bileşenlerinin önlenen toprak kaybı değerleri (ton/ha/yıl)

Tablo 37. Yaş sınıfları ile önlenen toprak kaybı miktarı arasındaki istatistiki analiz

Correlations				
			Önlenen toprak kaybı miktarı	YS
Spearman'srho	Önlenen Toprak KM	CorrelationCoefficient	1,000	,147**
		Sig. (2-tailed)	.	,000
		N	1966	1966
	YS	CorrelationCoefficient	,147**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	.
		N	1966	1966
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).				

Yaş sınıfları ile önlenen toprak kaybı miktarı arasında ilişki olup olmadığı araştırılmıştır (Tablo 37). Bu tablo incelendiğinde yaş sınıfları ile Karaburun (2010)'a göre hesaplanan C değerleri arasında pozitif yönlü anlamlı ancak düşük bir ilişkinin var olduğu sonucuna varılmaktadır ($r=0.147$; $p<0,01$).

4.3. Karaburun (2010)'a Göre Hesaplanan Toprak Kaybı Değerlerinin Eğim Grupları Kapsamında Tartışılması

4.3.1. Eğim Grubu - Kapalılık

Eğim arttıkça kapalılık seviyelerinin toprak kaybını önleme üzerindeki etkisinin belirgin şekilde arttığı tespit edilmiştir. Düşük ve orta eğim gruplarında, özellikle düşük kapalılıkta toprak kaybının kısmen önlenemediği gözlemlenmekle birlikte, yüksek eğim gruplarında yalnızca yüksek kapalılığın daha etkili olduğu açıkça ortaya konmaktadır. Eğim seviyelerine göre değişen kapalılık düzeylerinin toprak koruma stratejilerinde önemli bir faktör olarak değerlendirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. İlk üç eğim grubunda önlenen erozyon miktarları sınırlıdır. Buna karşılık, 4. ve 5. eğim gruplarında toprak kaybının önlenmesinde belirgin artış görülmektedir. Bu artış, kapalılık seviyelerinin artmasıyla daha belirgin hale gelmiş, özellikle 3 kapalılık seviyesinde 7. eğim grubunda hızlı bir erozyon önleme etkisi ortaya çıkmıştır. Aynı şekilde, 1 ve 2 kapalılık seviyelerinin etkisi ise 6. eğim grubundan sonra hızlı bir artış görülmektedir. Eğim ve kapalılık etkileşiminin dinamik bir süreç olduğunu ve yüksek eğim gruplarında etkili toprak koruma sağlanabilmesi için daha yüksek kapalılık derecelerinin gerekli olduğunu doğrulamaktadır.

Parhizkar vd. (2020), İran'ın kuzeyindeki Saravan Orman Parkı'nda yaptıkları çalışmada, farklı eğim gruplarında orman alanı (2 parça) ve 10 yıl önce yüksek gerilim hattı için ormanların tıraşlama yöntemiyle kesilmiş ve ormansızlaştırılmış alanda (2 parça) olmak üzere toplamda 4 farklı alanda incelemeler yapmışlardır. Çalışmada, 3 farklı eğim grubunda, hem orman hem de ormansızlaştırılmış alanlarda erozyon miktarları ölçülmüştür. %12 eğimde, ormansızlaştırılmış alanlarda güney yönünde $0,030 \text{ kg kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, kuzey yönünde $0,028 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ erozyon miktarları tespit edilmiştir. Orman alanlarında bu değerler; güney yönünde $0,010 \text{ kg kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ve kuzey yönünde $0,008 \text{ kg kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. %16 eğimde, ormansızlaştırılmış alanlarda güney yönünde $0,042 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, kuzey yönünde $0,037 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ toprak kaybı miktarları ölçülmüş; orman alanlarında ise bu değerler güney yönünde $0,015 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ve kuzey yönünde $0,012 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ olarak bulunmuştur. %19 eğimde, ormansızlaştırılmış alanlarda güney yönünde $0,048 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, kuzey yönünde $0,040 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ erozyon miktarları kaydedilmiş; orman alanlarında ise güney yönünde $0,017 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ve kuzey yönünde $0,014 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ toprak kaybı miktarları tespit edilmiştir. Gerçekleştirdiğimiz bu çalışmada, eğim arttıkça toprak kaybı miktarlarının da arttığı, ancak kapalılığın erozyon kontrolüne katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir. Parhizkar vd. (2020) çalışmasında ise, eğimle birlikte bitki örtüsü yoğunluğu ve yöneliminin erozyon üzerinde belirleyici rol oynadığı belirtilmiştir. Her iki çalışmada da yoğun bitki örtüsünün erozyonu önleme açısından kritik olduğu vurgulanmaktadır. Yüksek eğim gruplarında (özellikle 9. ve 10. gruplarda), bitki örtüsü ve kapalılığın erozyon kontrolü için tek başına yeterli olmadığı ve ek önlemler gerektiği görülmüştür. Her iki çalışmada da, eğim, kapalılık ve bitki örtüsü yönetimi arasındaki ilişkileri farklı perspektiflerden ele almıştır. Her iki çalışmadan elde edilen bulgular, yüksek eğim ve düşük kapalılık koşullarının erozyon riskini artırdığını ve ormanlık alanların korunmasının önemini ortaya koymaktadır. Hem ormanlık hem de ormansızlaştırılmış alanlarda, eğimin artışıyla toprak kaybı miktarlarının arttığı gözlemlenmiştir. Orman örtüsünün toprak kaybını önlemede etkili olduğu netbiçimde ortaya çıkmaktadır. Gerçekleştirdiğimiz bu çalışmada incelenen toprak kaybı gruplarında, eğim miktarlarının artışıyla birlikte önlenen toprak kaybı miktarlarının da arttığı tespit edilmiştir (Tablo 19) (Tablo 38).

Tablo 38. Eğim - bakı ve ormanlık duruma göre toprak kaybı ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Parhizkar vd. 2020)

	Eğim Grubu					
	%12		%16		%19	
	Bakı		Bakı		Bakı	
	Güney	Kuzey	Güney	Kuzey	Güney	Kuzey
Orman alanı	0.010	0.008	0.015	0.012	0.017	0.014
Ormansızlaştırılmış alan	0.030	0.028	0.042	0.037	0.048	0.040

Kosmas vd. (2000) Midilli adasında yaptıkları çalışmada, farklı eğim grupları, toprak derinliği ve bitki örtüsü (kapalılık) parametrelerine göre toprak kaybı miktarını incelemiştir. Çalışmada, eğim faktörünün toprak kaybı miktarları üzerindeki etkisi belirgin bir şekilde gözlemlenmiştir. Eğimin artmasıyla, toprak kaybı miktarlarının da arttığı tespit edilmiş, özellikle %25-35 ve %35 üzeri eğimlerde (dik ve çok dik) toprak kaybı miktarları 20 ton/ha/yıl ve üzeri seviyelere çıkarak "Çok Şiddetli" sınıfına girmiştir. Bu durum, dik eğimlerin toprak stabilitesini bozarak su akışını hızlandırdığı ve toprak kaybını tetiklediği sonucunu ortaya koymuştur. Toprak derinliği de erozyon miktarlarını etkileyen bir diğer önemli parametre olarak öne çıkmaktadır. Sığ toprakların (0-15 cm) çok şiddetli erozyona maruz kaldığı, buna karşın daha derin toprakların (50-150 cm üzeri) hafif ve düşük erozyon oranlarına sahip olduğu görülmüştür. Derin topraklar, suyun daha iyi emilmesine olanak tanıyarak erozyon riskini azaltmaktadır. Bitki örtüsünün artması ise erozyonu önemli ölçüde azaltmakta, %0-25 bitki örtüsü olan alanlarda toprak kaybı miktarları çok yüksek iken (%20+ ton/ha/yıl), %75-100 bitki örtüsü olan alanlarda bu miktar minimum seviyelere (%0-2 ton/ha/yıl) düşmektedir. Kosmas vd. (2000) çalışmasında, toprak derinliği ve bitki örtüsünün erozyon kontrolündeki rolü vurgulanırken, gerçekleştirdiğimiz bu çalışma ise, doğrudan ağaç sayısı ve orman yapısının toprak kaybını önleme kapasitesini ön plana çıkarmaktadır. Her iki çalışmada da dik eğimler ile sığ toprakların toprak kaybını artırıcı etkisi, ortak bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak gerçekleştirdiğimiz bu çalışmada, ağaç sayısının, hacim ve göğüs yüzeyinin önleyici etkisini sayısal verilerle destekleyerek, orman alanlarının etkisini rasyonel olarak daha net ortaya koymaktadır (Tablo 19) (Tablo 39).

Tablo 39. Erozyon miktarları değerleri (Kosmas vd. 2000)

Bitki Örtüsü Türü	Bitki Örtüsü Yoğunluğu (%)	Eğim Sınıfı (%)	Erozyon Miktarı	Ana Kaya Türü	Toprak Tekstürü	Toprak Derinliği (cm)
Maki	25-50	12-18	Orta	Volkanik Lava	Killi	30-50
Zeytin Ağaçları	50-75	6-12	Düşük	Mermer-Şist	Kil-Tın	50-100
Meşe Ormanları	75-90	0-2	Çok Düşük	Şeyl	Tınlı	100-150
Çam Ormanları	50-75	12-18	Düşük	Peridotit	Kil	50-100
Yıllık Ekili Alanlar	0-5	0-2	Çok Yüksek	Alüvyon Depoları	Kil-Tın	15-30

Hartanto vd. (2002) Endonezya'nın Orta Kalimantan bölgesinde orman üretim faaliyetlerinin (geleneksel üretim ve hassas üretimin (Reduced impact logging (RIL)) yüzey akış ve toprak erozyonu üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Hartanto ve arkadaşlarının (2002) çalışması ile yaptığımız çalışma verileri karşılaştırıldığında, iki çalışmanın da toprak kaybı üzerinde eğim ve kapalılık (veya ağaç örtüsü) etkisini vurguladığı görülmektedir. Ancak her iki çalışmada kullanılan yöntemler ve elde edilen sonuçlar arasında dikkat çeken bazı farklılıklar bulunmaktadır.

Hartanto vd. (2002), Kalimantan'da yapılan araştırmalarında, toprak kaybı ve yüzey akışının, özellikle “skidtrail” olarak adlandırılan traktör yollarında en yüksek seviyeye ulaştığını, buna karşın kontrol (bozulmamış orman alanları) ve hasat edilen alanlarda daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmalarında, kapalılık, fidan yoğunluğu, örtü derinliği ve odunsu artıkların toprağın korunmasında kritik rol oynadığını belirlemişlerdir. Özellikle kapalılık, yağmur damlalarının büyüklüğünü ve erozyon gücünü azaltmada önemli olduğunu vurgulamışlardır. Aynı zamanda, odunsu artıkların toprağı koruduğu ve yüzey pürüzlülüğünü artırarak toprak parçacıklarının taşınmasını minimize ettiği ifade edilmiştir. Gerçekleştirdiğimiz bu çalışmadaki verilere baktığımızda ise, eğim grupları ve kapalılık dereceleri arasında net ilişki olduğu görülmektedir. Düşük eğim gruplarında kapalılık seviyesi arttıkça, toprak kaybının önlenmesinde artış gözlemlenmiş; özellikle 3 kapalılık seviyesi, 7. eğim grubunda hızlı bir toprak kaybı önleme etkisi ortaya konmuştur.

Aynı şekilde, 1 ve 2 kapalıdaki etki, 6. eğim grubundan itibaren önemli ölçüde artmıştır. Ancak 10. eğim grubunda yalnızca en yüksek kapalılık seviyesinde (3 kapalılık) etkin bir koruma sağlanmış, diğer seviyelerde herhangi bir koruma gözlemlenmemiştir. Bu sonuçlar, Hartanto vd. (2002) çalışmasındaki benzer sonuçlarla paralellik göstermekte, ancak gerçekleştirdiğimiz bu çalışma, daha geniş eğim gruplarına ve kapalılık seviyelerine odaklanmaktadır. Hartantovd. (2002) çalışmasında Reduced Impact Logging (RIL) ve geleneksel ormancılık yöntemlerini karşılaştırılmıştır. Bu doktora tezinde ise eğim gruplarına odaklanarak, eğim-kapalılık etkileşimini değerlendirilmiştir. Ayrıca, Hartanto vd. (2002) çalışmasında tropikal yağmur ormanları ekosistemi incelenmişken, çalışmamızda Akdeniz Bölgesi incelemektedir. Her iki çalışmada da eğim ve kapalılık seviyelerinin toprak kaybını önlemedeki önemi vurgulanmıştır. Yaptığımız çalışmada, eğim gruplarındaki farklı kapalılık derecelerinin etkisini daha detaylı şekilde ortaya koyarken, Hartanto vd. (2002) tarafından daha geniş ekolojik değişkenler (fidan yoğunluğu, odunsu döküntüler, örtü derinliği) üzerinde durulmuştur. Bu bağlamda, gerçekleştirilen bu çalışmanın sonuçları Hartanto vd. (2002) bulgularıyla uyumlu olup, eğim arttıkça kapalılık düzeylerinin toprak koruma üzerindeki etkisinin arttığını göstermektedir. Ancak, iki çalışmanın coğrafi ve ekolojik bağlamlarının farklılığı, sonuçların uygulama alanlarında dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini ifade etmektedir (Tablo 19) (Tablo 40).

Tablo 40. Kapalılık ve eğim değerlerine göre toprak kaybı miktarları (Hartanto vd. 2002)

Özellikler	Havza 92			Havza 37		
	Kontrol	Geleneksel Kesim	Toprak Yol	Kontrol	Planlı Kesim	Toprak Yol
Kapalılık (%)	70	50	20	80	65	30
Ölü Örtü Derinliği (cm)	5.5	3.0	1.0	6.0	4.5	2.0
Toprak Yoğunluğu (g/m ³)	1.2	1.3	1.4	1.1	1.2	1.3
Eğim (%)	10	15	20	8	12	18
Eğim Uzunluğu (m)	30	40	50	25	35	45
Erozyon (ton/ha)	0.5	1.5	4.0	0.3	1.0	3.0
Fidan Yoğunluğu (fidan/m ²)	25	20	10	30	25	15
Odunsu Döküntü (%)	30	25	15	35	30	20
Toprak Azot Konsantrasyonu (%)	1.2	1.3	1.4	1.1	1.2	1.3
Toprak C/N Oranı	12	13	14	11	12	13
iWUE (μmol CO ₂ /mol H ₂ O)	60	62	61	65	64	63
NUE (g/g N)	65	64	66	68	67	66

4.3.2. Eğim Grubu - Bonitet

I. bonitet sınıfında en yüksek düzeyde önlenen toprak kaybı miktarına ulaşılmıştır. Özellikle 9. ve 10. eğim gruplarında, en fazla toprak kaybının önlendiği gözlemlenmiştir. Eğim arttıkça, potansiyel toprak kaybı da artmakta, bununla birlikte meşcere yapılarına bağlı olarak önlenen toprak kaybı miktarı da önemli ölçüde artış göstermektedir. Yüksek eğim gruplarında, meşcere yapılarının sürekliliği sağlanarak, toprak kaybı minimize edilmelidir. Aktüel meşcere kuruluşları ve bonitetleri göz önüne alındığında, toprak kaybını minimum seviyeye indirmenin zor olduğu alanlarda araziye yönelik müdahaleler (örneğin teraslama gibi) yapılmalı ve bu yöntemlerle toprak kaybı kontrol altına alınmalıdır. Özellikle ilk üç eğim grubunda toprak kaybının önlenme miktarları belirgin bir artış göstermemekle birlikte, 4. eğim grubundan itibaren önlenen toprak kaybında hızlı bir artış gözlemlenmiştir. Bonitetlere göre değişmekle birlikte, 4. eğim grubundan sonraki her meşcere koruma işletme sınıfına dahil edilme potansiyeline sahiptir. Yönetmelikler doğrultusunda, eğimi %60-79 olan meşcereler toprak koruma işletme sınıfına dahil edilmektedir. Bununla birlikte, bu sınırı 5. eğim grubuna kadar indirmek mümkün görünmektedir. Bu bağlamda, eğim, bonitet ve meşcere yapıları dikkate alınarak etkin bir toprak koruma yönetimi oluşturulması gereklidir.

- Tam Kapalı Meşcerelerde Eğim Grubu - Bonitet

Tam kapalı meşcerelerde, ilk üç eğim grubunda önlenen toprak kaybı miktarları düşük seviyelerde seyretmektedir. 3. eğim grubunu takiben hızlı bir artış gözlenmiş, bu artış özellikle 7. ve 8. eğim gruplarında durağan bir seviyeye ulaşmıştır. 9. ve 10. eğim gruplarında ise önlenen toprak kaybı miktarları en yüksek seviyelere çıkmıştır. 8. ile 10. eğim grupları arasında mutlak toprak koruması sağlanmalı ve potansiyel toprak kaybı göz önüne alınarak arazi yapısında düzenlemeler yapılmalıdır. Aksi takdirde, toprak katmanının yok olması, o bölgede ormansızlaşmayı tetikleyebilecektir.

Toprak koruma işletme sınıflarının belirlenmesinde, bonitet ve kapalılık gibi meşcere bileşenleri ile eğim faktörü dikkate alınmalı ve 5. eğim grubundan itibaren bu işletme sınıfına ayrılması gerekmektedir. Bununla birlikte, 4. eğim grubundaki meşcerelerin, yaş, bonitet ve kapalılık gibi bileşenlere dayalı olarak toprak koruma işletme sınıfına dahil edilip edilmeyeceği konusunda ayrıca bir değerlendirme yapılması gerekmektedir.

4.3.3. Eğim Grubu – Gelişme Çağı

Nguyen vd. (2020) Vietnam'ın CaMau yarımadasında Mangrov ormanlarında yapılan çalışmada, orman yapısının gelişim sürecine bağlı olarak farklı tür kompozisyonları, ağaç boyutları ve eğim gruplarının erozyon üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada ağaç türü ve karışımları, eğim, çap ve toprak derinliği verileri kullanılmıştır. Nguyen (2020) çalışmasında, orman yapısı ve ağaç boyutları sınıflandırılarak (küçük, orta ve büyük çaplı ağaçlar) eğim gruplarına göre erozyon miktarları değerlendirilmiştir. Örneğin, genç ormanlarda, küçük çaplı ağaçların bulunduğu hafif eğimli alanlarda erozyon miktarı 15-20 ton/ha/yıl olarak gözlemlenmiştir. Eğim arttıkça ve ağaç boyutları büyüdükçe, erozyon miktarları önemli ölçüde azalmaktadır. Orta çaplı ağaçların bulunduğu orta eğimli alanlarda erozyon miktarları 10-15 ton/ha/yıl seviyesine düşerken, olgun ormanlarda büyük çaplı ağaçların yer aldığı çok dik eğimli alanlarda bu miktar 0-5 ton/ha/yıl ile en düşük seviyeye çekilmektedir. Bu sonuçlar, orman yapısının gelişim aşamalarının ve ağaç çaplarının, eğim faktörü ile birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ve daha olgun yapıya sahip ormanların, özellikle dik eğimli alanlarda bile erozyonu minimize ettiğini göstermektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmada ise; eğim arttıkça ve gelişim çağı ilerledikçe, ağaç sayısı ve göğüs yüzeyi genişledikçe toprak kaybının daha etkili şekilde önlendiğini göstermektedir. Örneğin, 1. eğim grubunda 825 adet/ha ağaç sayısı ve 9,09 m²/ha göğüs yüzeyi ile 15 ton/ha/yıl toprak kaybı önlenirken, daha dik olan 6. eğim grubunda ve d gelişme çağındaki meşcereler 13,13 m²/ha göğüs yüzeyi ve 29 ton/ha/yıl önlenen toprak kaybı ile daha yüksek bir koruma sağlamaktadır. Her iki çalışmada da gözlemlendiği gibi, gelişim çağı ilerledikçe ve eğim grubu arttıkça, erozyonun önlenmesi için daha büyük çaplı ve yoğun ağaç yapılarının önemi ortaya çıkmaktadır. Nguyen vd. (2020) yaptıkları çalışmadaki küçük çaplı ağaçların toprak kaybı üzerindeki düşük etkisi, gerçekleştirilen bu çalışma sonuçları ile gelişme çağı anlamında uyum göstermektedir. Buna karşılık, yaşlı ağaçların ve yüksek göğüs yüzeylerinin yer aldığı yaşlı ormanlarda, hem eğimli arazilerde hem de dik eğim gruplarında erozyonu önemli ölçüde azaltmaktadır (Tablo 22).

- Tam Kapalı Meşcerelerde Eğim Grubu – Gelişme Çağı

Tam kapalı meşcerelerde yapılan değerlendirmede, d çağıının genel olarak en yüksek seviyede toprak koruma sağladığını göstermektedir. Eğim grubu ve gelişme çağı verileri incelendiğinde, toprak koruma işletme sınıflarının belirlenmesinde özellikle 5. eğim grubunun alt sınır değeri olarak kabul edilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır d gelişme çağıında daha fazla birey sayısı olmasına karşın, daha fazla hacim ve göğüs ile daha fazla toprak koruma sağlamaktadır. Tam kapalı meşcerelerde gelişme çağları arasında yapılan karşılaştırmalarda, d gelişme çağı en etkin toprak koruma sağladığı çıkmaktadır. Bunu sırasıyla c ve b gelişme çağları izlemektedir. Bu bulgular, özellikle tam kapalı meşcerelerde toprak koruma açısından gelişme çağlarının önemli bir parametre olduğunu göstermektedir. Toprak koruma işletme sınıflarının oluşturulmasında, meşcerelerin en yüksek gelişim çağına çıkarılması gerektiği ve bu sayede toprak koruma etkinliğinin artırılacağı sonucuna varılmaktadır. Bu bağlamda, meşcere yönetiminde yapılacak müdahalelerle gelişme çağlarının yüksek tutulması, özellikle eğim gruplarına göre toprak koruma kapasitesinin daha etkin kullanılmasına olanak tanıyacaktır.

4.3.4. Karaburun (2010)'a Göre Hesaplanan Toprak Kaybı Değerlerinin Eğim Sınıfları Kapsamında Tartışılması

Toprak kaybı verilerinin analizi birçok önemli bulguyu ortaya koymaktadır. Veriler, eğim grupları ile önlenen toprak kaybı miktarı arasında pozitif bir korelasyon olduğunu göstermekte, yüksek eğim gruplarında genellikle daha fazla toprak koruma çabası gözlemlenmektedir. Grafiksiz analiz, artan eğim gruplarıyla birlikte toprak kaybı önlemede genel bir artış eğilimi olduğunu, 7. ve 8. gruplarda belirgin ve 9. ve 10. gruplarda keskin değişimler göstermektedir (Tablo 42). Bu analizlerden elde edilen sonuçlar, özellikle yüksek eğimli alanlarda toprak koruma önlemlerinin planlanması ve uygulanması için veriye dayalı bir çerçeve sunmaktadır. Eğim grupları ile önlenen toprak kaybı miktarı arasında ilişki olup olmadığı araştırılmıştır (Tablo 41). Bu tablo incelendiğinde yaş sınıfları ile önlenen toprak kaybı miktarları arasında pozitif yönlü anlamlı bir ilişkinin olduğu sonucunu ortaya koymaktadır ($r=0.536$; $p<0,01$).

Tablo 41. Eğim değerlerine göre toprak kaybı miktarları analizi

Correlations					
				Önlenen Toprak KM	Eğim Grupları
Spearman'srho		Önlenen Toprak KM	CorrelationCo efficient	1,000	,536**
			Sig. (2-tailed)	.	,000
			N	1966	1966
		Eğim Grup	CorrelationCo efficient	,536**	1,000
			Sig. (2-tailed)	,000	.
			N	1966	1966
	**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).				

Tablo 42. Eğim değerlerine göre toprak kaybı miktarları

Eğim grupları	Önlenen Toprak Kaybı Miktarı Karaburun (2010)	I. bonitet	II. bonitet	III. bonitet	1 kapalı	2 kapalı	3 kapalı	b çağı	c çağı	d çağı	b çağı (Tam kapalı)	c çağı (Tam kapalı)	d çağı (Tam kapalı)
1	86			86		234	12	12		0	15		
2	33	175	59	27	27	42	27	13	56	69	20		
3	100	118	153	91	66	142	64	38	99	215	28	30	
4	191	397	231	155	166	215	189	125	229	225	138	306	218
5	308	519	352	239	196	366	328	201	311	351	170	412	493
6	444	576	451	381	376	507	423	446	366	512	463	396	515
7	629	709	645	523	507	655	673	757	643	633	765	662	716
8	626	680	657	540	570	617	675	701	563	723	894	631	852
9	848	1015	809	833	758	957	942			691			795
10	1081		1081				1081			0			
Ortalama	447	647	516	303	343	485	479	276	407	526	390	489	623

4.4. Karaburun (2010)'a Göre Hesaplanan Toprak Kaybı Değerlerinin Bonitet Sınıfları Kapsamında Tartışılması

4.4.1. Bonitet - Kapalılık

Kapalılık derecesinin artmasıyla, toprak kaybı daha fazla önlenmektedir. I. bonitet, en yüksek toprak kaybı önleme kapasitesine sahiptir ve 3 kapalılıkta, 645 ton/ha/yıl toprak kaybı önlenirken, III. bonitette, aynı kapalılık seviyesinde 345 ton/ha/yıl toprak kaybı önlenmektedir. Daha yüksek bonitetlerde kapalılık seviyesine bağlı olarak toprak kaybının daha etkili bir şekilde önlenbildiğini göstermektedir. I. bonitet sınıfı ve 1 kapalılıkta bile, III. bonitet grubundaki 3 kapalılığa yakın miktarda toprak kaybını önlenmektedir. Kapalılık derecesinin artmasının, her bonitet grubu için belirgin bir toprak kaybı azaltma etkisi vardır. En yüksek kapalılık derecelerine dahi bir miktar toprak kaybı gerçekleşebileceğini, ancak genel olarak kapalılık seviyelerinin artırılmasının toprak kaybını büyük ölçüde önlenilebileceği görülmektedir. Kapalılık seviyesinin artırılmasıyla toprak kaybı önlemede genel bir iyileşme olduğu, ancak en düşük bonitet sınıflarında dahi maksimum kapalılık seviyesinde toprak kaybının sınırlı kaldığı anlaşılmaktadır. Toprak kaybını önleme açısından en yüksek etkiye sahip olan sınıf, I. bonitetsınıfıdır. Bu sınıf, daha verimli toprakları temsil ettiğinden, aynı kapalılık seviyelerinde diğer sınıflardan daha yüksek toprak kaybı önleme kapasitesine sahiptir. Bunun aksine, III. bonitet sınıfında daha düşük verimlilik gösteren topraklar, en yüksek kapalılık seviyelerinde bile nispeten düşük toprak kaybı önleme kapasitesine sahiptir. Daha verimli toprakların daha fazla kapalılık gerektirmeden dahi toprak kaybını etkili bir şekilde önleyebileceğini, buna karşın daha az verimli toprakların (III. bonitet) koruma sağlanabilmesi için daha yüksek kapalılık seviyelerine ihtiyaç duyduğu görülmektedir. Sonuç olarak, bonitet ve kapalılık dereceleri arasındaki ilişki, toprak kaybını önleme kapasitesi açısından belirgin şekilde görülmektedir. Daha yüksek bonitet değerlerine sahip topraklar, daha etkili şekilde toprak kaybını önleyebilirken, daha yüksek kapalılık seviyeleri, tüm bonitet sınıflarında toprak kaybını azaltmada etkili olmaktadır.

Selkimi vd. (2011) Katalonya'da 2011 yılında yaptıkları çalışmada Katalonya ormanlarında toprak kaybının meydana geldiği alanları tanımlamak ve bu erozyonun orman yapısı ile ilgili faktörlerle nasıl ilişkili olduğunu analiz etmişlerdir. Çalışmada, RUSLE

modeli kullanılmıştır. Selkimaki vd. (2011) bitki örtüsü yoğunluğunu; kapalılık oranı, bitki türleri, fidan boyları ve tepe çapları gibi parametrelerle belirlemiş ve bitki örtüsünün toprağı ne kadar koruduğunu analiz etmişlerdir. Selkimaki vd. (2011) ile gerçekleştirilen bu çalışma birlikte değerlendirildiğinde, ormanın yapısal özelliklerinin toprak kaybı üzerindeki etkilerini anlamak için önemli bulgular sunmaktadır. Artan kapalılık oranlarının, ormanların toprak kaybına karşı direncini artırdığı açıkça ortaya konmuştur. Özellikle daha yüksek kapalılık sınıflarında (%71-100), yoğun ağaç örtüsü ve geniş göğüs yüzeyi sayesinde yağmurun toprağı doğrudan temasını engelleyen ormanlar, toprak kaybı miktarlarını minimum seviyelere düşürmektedir. Bu bağlamda, Selkimaki vd. (2011) tarafından %60-90 kapalılık değerine sahip karışık ormanlar, tam kapalı ormanlar (%71-100) ile paralellik göstermekte ve her iki çalışmada da toprak kaybı miktarları en düşük seviyelerde (3-5 ton/ha/yıl) gözlemlenmektedir. Benzer şekilde, boy değerleri ile bonitet sınıfları arasındaki uyum, ormanların toprak koruma kapasitesine büyük ölçüde katkı sağlamaktadır. I. bonitet sınıfı (21,25 – 25,75 m, ortalama 23,50 m), Selkimaki vd. (2011) tarafından ortaya konan en yüksek ağaç boyu değerleri ile örtüşmekte ve en düşük toprak kaybı miktarlarına (3-5 ton/ha/yıl) sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, yüksek bonitet ve boy değerlerinin ormanın büyüme sürecinde toprak stabilitesini güçlendirdiğini ve toprak kaybı kontrolünde etkili olduğunu göstermektedir. Buna karşın, III. bonitet sınıfı, en düşük boy değeri ve gelişim aşamaları nedeniyle toprak kaybı miktarlarının belirgin şekilde arttığı (10-15 ton/ha/yıl) bir süreç sergilemektedir. Bu değişim, düşük bonitet ve kapalılık sınıflarının toprağın korunmasında yetersiz kaldığını ve erozyonun artmasına yol açtığını ortaya koymaktadır (Tablo 24) (Tablo 43).

Tablo 43. Orman yapılarına göre toprak kaybı miktarları (Selkimaki vd. 2011)

Orman Türleri	Erozyon Durumu	Ortalama Boy (m)	Ağaç Yoğunluğu (Ağaç/ha)
Saf İğne Yapraklı	Yok	7	0
	Var	8	200
Saf Geniş Yapraklı	Yok	9	400
	Var	10	600
Karışık Orman	Yok	11	800
	Var	12	1000
Yarı Kurak Orman	Yok	13	1200
	Var	14	1400

4.4.2. Bonitet – Gelişme Çağı

I. bonitet sınıfında, her üç gelişme çağında da toprak kaybını önleme kapasitesi diğer bonitet sınıflarına kıyasla daha yüksektir. Daha düşük verimlilikteki meşcerelerin (III. bonitet) toprak kaybını önlemede daha az etkili olduğunu göstermektedir. Gelişme çağıları, her bir bonitet sınıfı için toprak kaybını önleme kapasitelerinde farklı sonuçlar ortaya koymaktadır. İyi bonitet (I) sınıfında en yüksek toprak kaybı önleme kapasitesi; d gelişme çağında (672 ton/ha/yıl) gözlemlenirken, b gelişme çağı da buna oldukça yakındır (664 ton/ha/yıl). Buna karşılık, c gelişme çağında nispeten daha düşük toprak kaybı önlenmektedir (560 ton/ha/yıl). Bu durum, gelişme çağılarının toprak kaybı üzerindeki etkilerinin farklı olduğunu ve belirli bir gelişme döneminin diğerlerine kıyasla daha fazla toprak kaybını önleyebileceğini göstermektedir. Her bonitet sınıfında en yüksek toprak kaybı önleme kapasitesinin genellikle d gelişme çağında olduğunu ve bu dönemin diğer çağılara göre daha etkili olduğunu göstermektedir. Bonitetin, toprak kaybı üzerindeki etkisi net şekilde ortaya konmaktadır. I. bonitet, her gelişme döneminde en yüksek toprak kaybı önleme kapasitesine, III. bonitet sınıfı ise, en düşük toprak kaybı önleme kapasitesine sahiptir. Bu, daha iyi yetişme ortamlarının (I. bonitet), gelişme çağılarının farklılıklarına rağmen toprak kaybını daha iyi önleyebildiğini göstermektedir. Sonuç olarak, bu analiz, bonitet sınıflarının ve gelişme çağılarının toprak kaybını önleme üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır.

Selkimaki vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada ele alınan çap sınıfları (0-10 cm, 10-30 cm, 30+ cm) ile gerçekleştirilen bu çalışmada dikkate alınan gelişme çağıları “b” (8-19,9 cm), “c” (20-35,9 cm) ve “d” (36 cm üzeri) sınıfları birbirine oldukça yakındır. Bu benzerlik, çap ve gelişim çağılarının artmasının meşcerelerin toprak koruma kapasitesini artırarak erozyon miktarlarını azalttığını göstermektedir. Özellikle küçük çaplı ağaçlar ve erken gelişim çağıları daha yüksek toprak kaybı miktarlarıyla ilişkilendirilirken, büyük çaplı ağaçlar ve gelişmiş çağılar toprak kaybını önemli ölçüde azaltmaktadır. Her iki çalışmada da bu durum, ormanların yapısal gelişim süreçlerinin toprak kaybı kontrolündeki kritik rolünü vurgulamaktadır. Selkimakivd. (2011) tarafından gerçekleştirilen çalışmada boy değeri ile bonitet sınıflarının benzer olduğu düşünülmektedir. Bu benzerlik, bonitet değeri ve boy değerrinin arttıkça ormanın toprak koruma kapasitesinin yükseldiğini, dolayısıyla toprak kaybı miktarlarının azaldığını ortaya koymaktadır. İyi bonitet sınıfları, daha büyük çap ve yüksek ağaçlarla birleşerek toprak kaybını 0-5 ton/ha/yıl seviyelerine

kadar düşürürken, kötü bonitet sınıfları ve küçük çaplı ağaçlar toprak kaybının artmasına neden olmaktadır. Bu veriler, orman amenajmanında gelişim çağları ve bonitet değerlerinin dikkate alınmasının, erozyon kontrolü için önemli bir gösterge olduğunu göstermektedir (Tablo 25) (Tablo 44).

Tablo 44. Orman yapılarına göre toprak kaybı miktarları (Selkimaki vd. 2011)

Orman Türleri	Erozyon Durumu	Ortalama Çap (cm)	Ortalama Boy (m)	Göğüs Yüzeyi (m ² /ha)	Ağaç Sayısı (Ağaç/ha)
Saf İğne Yapraklı	Yok	16	7	2	0
	Var	18	8	4	200
Saf Geniş Yapraklı	Yok	22	9	6	400
	Var	24	10	8	600
Karışık Orman	Yok	26	11	10	800
	Var	28	12	12	1000
Yarı Kurak Orman	Yok	30	13	14	1200
	Var	32	14	16	1400

- Tam Kapalı Meşcerelerde Bonitet – Gelişme Çağı

I. bonitet sınıfı, genel olarak en yüksek toprak kaybı önleme kapasitesine sahiptir ve d gelişme çağı bu sınıf için en yüksek değeri göstermektedir (705 ton/ha/yıl). Buna karşılık, III. bonitette, b gelişme çağı (213 ton/ha/yıl) en düşük toprak kaybı önleme kapasitesine sahiptir. Her bonitet sınıfında gelişme çağları farklı sonuçlar doğurmuştur. Bu da gelişme çağlarının toprak kaybı önlemede önemli bir etken olduğunu göstermektedir.

Bonitet sınıflarının toprak kaybını önleme kapasitesi üzerindeki etkisi, genel eğilim olarak daha verimli yetiştirme ortamlarının (daha yüksek bonitet değerlerine sahip meşcereler) gelişme çağlarından bağımsız olarak toprak kaybını daha iyi önleyebileceğini göstermektedir. I. bonitet, her üç gelişme çağında da en yüksek toprak kaybı önleme kapasitesine sahiptir. II. bonitet toprak kaybını önlemede nispeten iyi sonuçlar verirken, III. boniteten düşük kapasiteye sahip sınıftır. Bu veriler, bonitet sınıfları ve gelişme çağlarının toprak kaybı üzerindeki etkilerini anlamaya yönelik önemli bulgular sunmaktadır. I. Bonitet; I. yaş sınıfı, gelişme çağları boyunca toprak kaybını en etkili

şekilde önleyen sınıf olarak öne çıkarken, III. bonitette gelişme çağlarının etkisi daha değişken ve beklenmedik sonuçlar doğurmuştur. c gelişme çağı, III. bonitette beklenenden daha yüksek bir performans sergileyerek, gelişme çağlarının toprak kaybı üzerindeki etkisinin dikkatle ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Tam kapalı meşcerelerde d gelişme çağı toprak korumada en fazla etkiye sahiptir. Daha sonra sırayla c ve b gelişme çağları gelmektedir. Genel olarak verim gücü azaldıkça önlenen toprak kaybı miktarıda azalmaktadır.

4.4.3. Karaburun (2010)'a Göre Hesaplanan Toprak Kaybı Değerlerinin Bonitet Sınıfları Kapsamında Tartışılması

Bonitet ile önlenen toprak kaybı miktarı arasında ilişki olup olmadığı araştırılmıştır (Tablo 45). Bu tablo incelendiğinde bonitet ile önlenen toprak kaybı miktarları arasında negatif yönlü anlamlı bir ilişkinin var olduğu sonucuna varılmaktadır ($r = -0.353$; $p < 0,01$).

Tablo 45. Bonitetlere göre toprak kaybı miktarları analizi

Correlations				
			Önlenen Toprak KM	Bonitet
Spearman'srho	Önlenen Toprak KM	CorrelationCoefficient	1,000	-,353**
		Sig. (2-tailed)	.	,000
		N	1966	1966
	bon	CorrelationCoefficient	-,353**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	.
		N	1966	1966
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).				

5. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında, ülkemiz ormanlarında yapılan amenajman çalışmalarında da kullanılmak üzere, toprak koruma fonksiyonuna konu olan Kızılcım meşcerelerinde meydana gelen toprak kaybı ve önlenen toprak miktarları değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler, koruma hedefine konu olacak alanların belirlenmesi, hedef kuruluşların oluşturulmasına ve planlanmasına referans olacak veriler üretmek amacıyla yapılmıştır.

Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılarak, uzaktan algılama teknikleri yardımıyla toprak kaybı miktarları hesaplanmıştır. İlk olarak indirilen görüntüler 1C seviyesinden (atmosfer üstü) atmosferik olarak düzeltilmiş 2A seviyesine (atmosfer altı) dönüştürülmüş ve bu görüntülerden NDVI (Normalize Edilmiş Fark Vejetasyon İndeksi) üretilmiştir. Elde edilen NDVI haritaları dört farklı yöntem kullanılarak bitki örtüsü faktörü (C faktörü) hesaplanmıştır. ÇEM'den alınan R, K ve LS faktörleri ile hesaplanan C faktörleri, RUSLE (Revize Edilmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği) yönteminde kullanılarak toprak kaybı miktarları hesaplanmıştır. Ayrıca Orman Genel Müdürlüğü'nden (OGM) temin edilen ve çalışma alanını kapsayan meşcere haritaları, amenajman planları ve Amenajman Plan Programından (APP) çekilen veriler derlenerek toprak koruma işletme sınıfları ve bu sınıftaki örnek alanların hacmi, ağaç sayısı, göğüs yüzeyi hesaplanmıştır. Yaş sınıfı, kapalılık, gelişim çağı ve bonitet gibi meşcere özellikleri ile eğim gibi topografik özellikler analizler için düzenlenmiştir. Sonuçta; çalışma alanını kapsayan örnek alanlar, dört farklı toprak kaybı miktarını ortaya koyan veriler ve önlenen toprak kaybı haritası oluşturulmuştur. Bu yöntemle çalışma alanının kapsamlı şekilde analiz edilmesi ve toprak kaybı miktarlarının haritalandırılması sağlanmıştır.

Önlenen toprak kaybı miktarları ile yaş sınıfı, eğim ve bonitet arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak araştırıldığında; eğim ve yaş sınıfı pozitif yönde ilişki olduğu gösterirken, bonitet negatif yönde ilişki göstermektedir. Bu bileşenler arasında eğim faktörünün bu gruplar arasında en kuvvetli ilişki olduğu anlaşılmıştır ($r=0,536$; $p<0,01$). Meşcere bileşenleri ile önlenen toprak kaybı arasında güçlü bir ilişki gözlemlenmiştir. Meşcerelerin yapısal özellikleri, ağaç sayısı, göğüs yüzeyi, hacim gibi bileşenlerin değişimi, toprak koruma kapasitelerini doğrudan etkilemektedir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada; yaş sınıfları ile önlenen erozyon miktarı arasında pozitif bir ilişki ortaya konmuştur. İlk yaş sınıflarında (I-III. sınıflar), ağaç sayısının fazla

olmasıyla, göğüs yüzeyi ve hacim değerleri daha küçük olduğundan, önlenen toprak kaybı miktarı genellikle düşüktür kalmıştır. Bu yaş sınıflarında ağaçların kök sistemleri henüz yeterince güçlü değildir, tepe çatısı tamamen gelişmemiştir, gövde yapıları ve boy yeterli seviyede değildir ve yaprak alanları daha sınırlıdır. Bu gibi nedenlerle toprağı tutma ve yağmur sularının yüzey akışını azaltma kapasiteleri düşük kalmaktadır. Bu da ilk yaş sınıflarındaki ormanların erozyonu önlemede daha az etkili olduğunu göstermektedir. V. ve VI. yaş sınıflarına gelindiğinde, ağaçların göğüs yüzeyi ve hacmi belirgin şekilde artmakta, bu da erozyon önleme kapasitesini olumlu yönde etkilemektedir. Ağaçların kök yapılarının daha derin ve geniş olması, yaprak yoğunluğunun artması, yağışın toprağı nüfuz etmesini kolaylaştırmakta ve yüzey akışı önemli ölçüde azaltmaktadır. VII. yaş sınıfında ağaçların hem sayıca azalması, hem de göğüs yüzeyi ve hacim değerlerinin çok yüksek seviyelere ulaşması dikkat çekmektedir. Bu meşcereler, geniş gövdeleri ve gelişmiş kök sistemleri sayesinde toprağı güçlü bir şekilde tutmakta ve erozyonu en düşük seviyelere indirmektedir. Bu nedenle ileri yaş sınıfları, erozyon kontrolünde en etkili dönemler olarak öne çıkmaktadır. Yaşlı ormanların erozyon kontrolünde genç ormanlara kıyasla daha etkili olduğunu görülmekte ve meşcere parametrelerinin ormanların planlanması açısından önemini daha belirgin hale gelmektedir. Yaş sınıflarının; bonitet sınıfları, gelişme çağları, kapalılık ve tam kapalı meşcerelerdeki verileri değerlendirildiğinde, VII yaş sınıfından sonra (140 yıl) toprak kaybı miktarının hızla azaldığı gözlemlenmiştir. Bonitet sınıfları, gelişme çağları, kapalılık ve tam kapalı meşcereler incelendiğinde, bu bulgu, 140 yılın toprak koruma işletme sınıflarında idare süresi olarak dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Bu durum, sürdürülebilir orman yönetimi ve toprak kaybının önlenmesi için stratejik bir eşik olarak kullanılabilir.

Eğim arttıkça meşcerelerin toprak kaybını önlemedeki etkisi de artmaktadır. Özellikle eğimi yüksek olan bölgelerde, meşcereler toprak kaybı kontrolünde daha fazla rol oynamaktadır çünkü bu alanlarda toprak kaybı riski daha yüksek olup meşcereler bu riski azaltmada önemli görev üstlenmektedir. Eğim derecesi düşük alanlarda yüzey suyu akışının sınırlı kalmasıyla toprak kaybı miktarı da daha az olmaktadır. Yüksek eğimli arazilerde toprak korumanın en iyi şekilde sağlanabilmesi için bu alanlarda meşcerelerin korunması ve doğru şekilde yönetilmesi kritik oldukça önemlidir. Ayrıca, yüksek eğim gruplarındaki meşcerelerin süksasyon aşamalarında, hacim ve göğüs yüzeyinin yüksek tutulması ile toprak kaybını azaltmada kritik bir role sahiptir çünkü bu alanlarda kök yapısı

ve tepe çatısı gibi faktörlerin güçlü olması, toprak kaybını önlemede etkili olmaktadır. Eğimin artmasıyla birlikte meşcerelerin toprak korumadaki rolünün de arttığı gözlemlenmiştir. Eğim derecesi yüksek meşcerelerde, ağaçların erozyon kontrolünde daha etkili olduğu, çünkü bu arazilerin daha yüksek erozyon riskine sahip olduğu ve ağaçların bu riskleri dengelemede önemli rol oynadığı belirlenmiştir. Arazinin eğimi düşük olduğu alanlarda yüzey akışı sınırlı kalmakta, dolayısıyla toprak kaybı miktarı da daha düşük olmaktadır. Yüksek eğimli arazilerde erozyon kontrolü en etkin şekilde sağlanmış olup, meşcerelerin bu alanlarda korunması ve sürdürülebilir şekilde yönetilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Yüksek eğimli arazilerde; gelişme çağlarının, hacimlerinin ve göğüs yüzeylerinin mümkün olduğunca yüksek tutulması, toprak kaybının önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu tür alanlarda kök yapısının ve tepe çatısının güçlü ve gelişmiş olması, toprak stabilitesini artırarak toprak kaybını engelleyici bir rol oynamaktadır. Eğimli arazilerde ağaçların derin ve sağlam kök yapıları toprağı güçlü şekilde tutarak yüzey akışının etkisini azaltır ve toprak örtüsünün bozulmasını önler. Ayrıca, yoğun tepe çatısı; yüzey akışını kontrol altında tutarak toprak kaybını asgari düzeye indirmektedir. 5. eğim grubunun, toprak koruma işletme sınıfının belirlenmesinde birinci öncelik grubu olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bunun yanı sıra, 4. eğim grubunda da kapalılık, bonitet ve gelişme çağı parametreleri dikkate alınarak 4. eğim grubunda olan meşcereler, toprak koruma işletme sınıfına dahil edilmesi uygun olacaktır. Yönetmelikte toprak koruma işletme sınıfı için belirlenen eğim değeri %60-79 aralığındadır. Ancak, elde edilen sonuçlara dayalı olarak, söz konusu değerin %50 ve üzeri olacak şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Böylece, bu özellikteki meşcerelerin toprak koruma işletme sınıfına dahil edilmesi sağlanacak ve toprak koruma açısından katkı sağlanacaktır.

Bonitet sınıfları ile önlenen erozyon miktarı arasında pozitif ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Verim gücü iyileştikçe önlenen toprak kaybı miktarı artmaktadır. Bonitet, meşcerenin büyüme kapasitesini ve verimliliğini gösteren bir ölçüttür ve bu ölçütün toprak kaybı kontrolü üzerinde belirgin etkisi bulunmaktadır. İyi bonitet sınıflarında, göğüs yüzeyi ve hacim değerleri daha yüksek olup, bu da toprak kaybı önleme kapasitesini arttırmaktadır. I. bonitette ağaçların büyüme potansiyeli yüksektir; bu nedenle göğüs yüzeyi ve hacim iyi gelişmektedir. İyi bonitet sınıflarında ağaçların toprak yüzeyini kaplama oranı ve kök derinliği arttıkça, yağış sularının yüzey akışı azalmakta ve toprak kaybı miktarını en aza indirilmektedir. Bu durum, iyi bonitet sınıflarındaki ormanların

toprak kaybını daha etkin bir şekilde önlediğini göstermektedir. Özellikle kalın gövde ve derin kök sistemleri, toprağın stabilitesini artırarak toprak kaybını en aza indirilmesinde önemli rol oynamaktadır. II. bonitette ormanların büyüme kapasitesi iyi bonitet sınıflarına göre bir miktar düşüktür, ancak yine de toprak kaybı önleme kapasitesi önemli ölçüde korunmaktadır. Bu sınıflarda, göğüs yüzeyi ve hacim değerleri orta düzeyde olup, bu da toprağı tutma ve toprak kaybını azaltma kapasitesini desteklemektedir. Orta bonitet sınıflarında ağaçların sağladığı gölgeleme ve organik madde birikimi, toprağın nem dengesini koruyarak erozyon kontrolüne katkı sağlamaktadır. III. bonitet ormanlarda büyüme potansiyeli sınırlıdır; bu durum, erozyon kontrolü üzerinde olumsuz etki yaratabilmektedir. Kötü bonitet sınıflarında, ağaçların göğüs yüzeyi ve hacim değerleri daha düşük olduğundan, kök sistemleri yeterince gelişmemiş ve toprağı tutma kapasitesi sınırlı kalmaktadır. Bu sınıflarda erozyon miktarı daha yüksek olabilmekte, dolayısıyla düşük bonitete sahip alanlarda erozyon önleme çalışmaları ve silvikültürel uygulamaların önemi artmaktadır. Sonuç olarak, bonitet sınıfları ile erozyon önleme kapasitesi arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Boniteti iyi olan ormanlardaki ağaçların, büyüme potansiyelleri sayesinde erozyonu en etkin şekilde önlerken, kötü bonitet sınıflarında bu etkinlik azalmaktadır. Bu nedenle, planlamada bonitet sınıflarının dikkate alınması, erozyon kontrolü açısından kritik öneme sahiptir. Silvikültürel uygulamalarda bonitet sınıflarına uygun stratejiler geliştirilerek, her bir bonitet sınıfının erozyon kontrolüne en yüksek katkıyı sağlaması önem kazanmaktadır.

Gelişme çağları ile önlenen toprak kaybı miktarı arasındaki ilişki, meşcerelerin gelişimiyle doğrudan bağlantılıdır. Daha iyi gelişen, yüksek kapalılık derecesi ve bonitete sahip meşcereler, toprak koruma kapasitesini artırarak toprak kaybı miktarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Gelişme çağının ilerlemesiyle birlikte, göğüs yüzeyindeki artışlar, toprağın fiziksel olarak korunmasına katkı sağlar. Bu da toprak kaybını önlemede etkili bir artışa yol açmaktadır. Meşcerelerde göğüs yüzeyi ve hacim değerlerinin artması, toprak kaybını önleme kapasitesini artırmaktadır. İleri (d) gelişme çağlarının toprak kaybını önlemede en etkili dönem olduğu anlaşılmaktadır. Bonitet sınıfı iyileştikçe ve kapalılık tam kapalılığa yaklaştıkça, d gelişme çağında toprak kaybını önlemede daha yüksek etkiler gözlemlenmektedir. Toprak koruma işletme sınıfı oluşturulurken, meşcerelerin hangi yaşlarda d gelişme çağına ulaştığı ve idare süresine göre alanı ne kadar koruyacağı belirlenerek işletme sınıfının etkisi de ortaya konabilmektedir. Her bir gelişme çağı

periyodundaki ağaç sayısı, göğüs yüzeyi ve hacim miktarları toprak koruma açısından kendi dönemine özgü bir etki oluşturmaktadır. Bu meşcere değerleri, toprağı koruma işlevinin etkinliğini belirleyen unsurlar olarak ön plana çıkmaktadır. Bu, planlamada dikkat edilmesi gereken kritik bir noktadır ve toprak koruma stratejilerinde meşcerelerin uygun yönetimi büyük önem taşımaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde; kapalılık arttıkça toprak kaybı miktarının önlenmesinde daha etkili sonuçlar elde edilmektedir. Özellikle en yüksek toprak kaybı önleme oranının tam kapalı meşcerelerde sağlandığı görülmüştür. Kapalılık derecesi arttıkça, bonitet ve yaş sınıflarında eşgüdümlü olarak toprak koruma miktarı da artmakta, yaşlı meşcerelerde toprak koruma daha fazla olmaktadır. Bu çalışmada elde edilen bulgular, tam kapalı (>%70) meşcerelerin; bonitet, yaş sınıfı, gelişme çağı ve eğim grubu gibi farklı parametreler altında toprak koruma işlevini daha iyi yerine getirdiğini göstermektedir. Özellikle yüksek bonitete sahip, ileri yaş sınıflarında ve yüksek eğim gruplarında kapalılık derecesinin yüksekliğine göre erozyonu önleme etkisi belirginleşmektedir. Genç yaşlarda ve düşük bonitet değerlerinde bile, daha yüksek kapalılık derecesi; toprak koruma açısından daha fayda sağlamaktadır. Bu sonuçlar, planlama ve silvikültürel uygulamalar açısından önemli çıkarımlar sağlamaktadır. Özellikle toprak koruma işletme sınıflarında, kapalılık derecelerinin korunması ve kapalılık yüzdesinin bonitet, yaşa ve eğim gibi parametrelere göre artırılması büyük bir öneme sahiptir. Meşcerelerin kapalılık seviyelerinde yönetilmesi; düşük bonitetli alanlarda ve özellikle eğimli arazilerde erozyon kontrolü sağlanarak toprağın korunması adına kritik rol oynayacaktır.

Göğüs yüzeyi; ağaçların çaplarının ölçülmesiyle ormanın yapısını ve ekolojik işlevlerini değerlendirmemizi sağlayan kritik bir göstergedir. Meşcerelerde; çap, biyokütle ve odun hacmini temsil eden bu parametre, ormanların toprak kaybını önleme kapasitesini doğrudan etkilemektedir. Yüksek göğüs yüzeyine sahip meşcereler, toprağı daha iyi örterek suyun aşındırıcı etkisini azaltmakta, toprak kaybını önlemede yardımcı olmaktadır. Bu bağlamda, planlamada göğüs yüzeyi yüksek meşcere yapılarını oluşturmak ve meşcerelerin göğüs yüzeyini silvikültürel müdahalelerle yükseltmek, toprak kaybını minimize etmek için öncelikli bir strateji olmalıdır. Göğüs yüzeyi, toprak koruma işletme sınıflarında önemli bir rol oynayarak hem orman ekosistemlerinin sürdürülebilirliğini hem de toprak sağlığını desteklemektedir. Bu nedenle, göğüs yüzeyi ile toprak koruma

arasındaki ilişki, doğal kaynakların sürdürülebilir planlaması için rehber niteliğinde bir unsurdur.

Bu yaklaşımla sadece toprak koruma değil, diğer orman fonksiyonlarının planlama sürecine entegrasyonu sağlanarak, ekosistem hizmetlerinin sürekliliği güvence altına alınabilir. Bununla birlikte, sadece toprak koruma ve/veya erozyonu önleme hedefleri değil, diğer tüm fonksiyonlar ve işletme sınıflarında çok amaçlı yararlanma ilkesi çerçevesinde, toprak kaybının ekolojik koşulların el verdiği ölçüde en düşük seviyede tutulması sağlanmalıdır. Silvikültürel uygulamaların dikkatli bir şekilde planlanması ve uygulanması, toprak kaybını en düşük seviyede tutacak kararların alınmasına yardımcı olacaktır.

Çalışma sonuçları, sürdürülebilir orman yönetimi stratejilerinde yaşlı ormanların korunmasının erozyon kontrolü açısından kritik role sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Verilerden yapılan çıkarımla bonitet farklılıkları, eğim, kapalılık unsurları yüksek öneme sahiptirler.

Çalışma kapsamında yukarıda elde edilen sonuçlar dışında, bazı açmazlar da bulunmaktadır: Ormanların planlanması aşamasında boşluklu kapalı meşcerelerde örnekleme çalışması yapılmadığından; bu kapsamda boşluklu kapalı ormanlarla verimli ormanlar arasında bir kıyaslama yapılmamıştır. Benzer şekilde OT (orman toprağı) alanları kapsam dışında tutulmuştur. Çalışma alanlarında meşcere bileşenleri kullanılmış, bu alanlarda mevcut diri örtü, ölü örtü, toprak tipi değerlendirmeye alınamamıştır. Bilindiği üzere, toprak kaybını önlemede üst tabakanın yanında diri örtü, ölü örtüde toprak kaybını önlemede ya da toprak kaybı miktarının azalmasında önleyici etmenlerdir.

Toprak kaybı miktarı hesaplama parametrelerinden R, K, LS gibi faktörlerin hiç birini kontrol etme veya değiştirme şansına sahip olmadığımız bilinen bir gerçektir. Burada yalnızca (C faktörü) bitki faktörü üzerinde etkili olunabilmektedir. Bu nedenle, toprak kaybının minimum seviyede tutulması için ormanların ilk önce miktarının sonrasında ise yapısının en iyi seviyede tutulması gerekmektedir.

Orman ekosistemlerinin toprak koruma kapasitesinin dinamik bir yapıya sahip olduğu ve yaşın ilerlemesiyle birlikte meşcere bileşenlerinin (ağaç sayısı, göğüs yüzeyi, hacim) toprak kaybı üzerinde doğrudan etkili olduğu anlaşılmaktadır. Bu bileşenlerdeki artış veya azalış dönemleri, toprak kaybının önlenmesi üzerinde belirgin değişimlere neden olmaktadır. Eğim faktörünün de toprak kaybını önlemede kritik rol oynadığı görülmekte

olup, özellikle tam kapalı meşcerelerin daha dik yamaçlarda bile etkili toprak koruma kapasitesi gösterdiği belirlenmiştir. Yüksek bonitetli alanların toprak kaybını önleme kapasitesinin daha yüksek olduğu ortaya konmuştur. Bonitet ve meşcere kapalılığındaki artış, toprak koruma kapasitesini artırarak düşük bonitetli alanlara kıyasla daha verimli sonuçlar sağlamaktadır. Bu durum, meşcere yönetiminde bonitet sınıfının dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır. Orman ekosistemlerinin meşcere bileşenleri ve yapılarına bağlı olarak toprak kaybını önleme kapasitelerinde önemli farklılıklar bulunduğu ve bu durumun sürdürülebilir orman yönetiminde dikkate alınması gerektiği anlaşılmaktadır. Uygun planlama stratejileriyle meşcere özelliklerinin optimize edilmesi, hem toprak kaybının önlenmesini sağlayacak hem de orman ekosistemlerinin sağlığını ve sürdürülebilirliğini arttıracaktır.

6. ÖNERİLER

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında öne çıkan öneriler şu şekildedir:

Yetiştirme ortamı özelliklerinin minimum hata ile belirlenebilmesi için detaylı toprak haritalarının hazırlanması gerekmektedir. Toprak haritaları, ormanlık alanların topografik ve pedolojik özelliklerini detaylı bir şekilde ortaya koyarak, yetiştirme ortamı ve bonitet sınıflarının doğru şekilde tanımlanmasına olanak sağlar. Bu haritalar, toprak özelliklerinin (doku, yapı, organik madde içeriği, derinlik, drenaj, pH vb.) detaylı bir şekilde analiz edilmesiyle, orman ekosistemlerinin ürün ve hizmet kapasitesini ve sürdürülebilir orman yönetimini optimize etmek için gerekli olan temel verileri sunmaktadır. Toprak haritalarının yapılması, orman ekosistemlerinin daha verimli ve sürdürülebilir bir şekilde planlanması için vazgeçilmez bir araç olarak öne çıkmaktadır. Toprak haritalarının kullanımı, amenajman planlarının daha bilimsel ve gerçekçi bir temelde oluşturulmasına imkan sağlayacaktır. Bu sayede, her bir yetiştirme ortamı için işletme amacı ve koruma hedeflerinin daha rasyonel belirlenmesine yardımcı olacaktır.

Amenajman planlarının daha etkin ve sürdürülebilir bir şekilde uygulanabilmesi için, her planlama biriminde mevcut ve önlenen toprak kaybı haritalarının ve tablolarının oluşturulması ve bu haritaların amenajman planlarına altlık olarak entegre edilmesi büyük önem arz etmektedir. Toprak kaybı haritaları, orman ekosistemlerinin erozyonu önleme fonksiyonlarının ölçülebilir hale getirilmesine olanak tanıyarak, bu fonksiyonların planlamaya entegrasyon sürecini kolaylaştırmaktadır. Bunun yanında diğer fonksiyonlarda ve işletme sınıflarında da toprak kaybı miktarını en aza indirecek uygulamalara altlık olarak kullanılabilir. Böylece, orman kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi sağlarken, toprak kaybı ile mücadelede önemli bir mesafe kat edilmiş olacaktır. Bu bağlamda, planlama süreçlerinde toprak kaybı haritalarının kullanılması, orman amenajman planlarının hazırlanması esnasında karar verme süreçlerine pozitif katkı sunacaktır. Dolayısıyla, her planlama biriminde toprak kaybı haritalarının hazırlanması ve planlamada aktif şekilde kullanılması kritik bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır.

Toprak kaybı çalışmalarında öncelikle havza bazlı çalışmalar yapılması bir çok ekolojik, iklimik, edafik ve biyofik faktörlerin farklılıkları azaltacak, çalışmalarda hata

payını en aza indirgeyecektir. Yapraklı meşcereler ile ibreli meşcereler, toprak açısından farklı özellikler gösterdiğinden ayrı ayrı ele alınmalıdır. Toprak kaybı kapsamında; herdem yeşil bitki türleri ile yaprak döken türler arasındaki farklılıklar, araştırmalarla ortaya konulmalıdır. Yaprak döken ormanlarda mevsimsel değişimlerin toprak kaybı üzerindeki etkisi oldukça belirgindir; yaprak dökme dönemlerinde toprak örtüsü değişir ve yaprakların olmadığı dönemde yağmur doğrudan toprakla temas edeceği için toprak kaybı miktarını artıracaktır. Öte yandan, ibreli ormanlarda ise yağışların şiddeti ve yağışlı dönemler ile diğer dönemler arasındaki farklılıklar, erozyonun değerlendirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle, her iki orman türünün erozyon üzerindeki etkilerini anlamak için farklı mevsimsel ve iklimsel koşulların etkileri ayrı ayrı araştırılmalıdır.

Çalışmada Akdeniz Bölgesi'ndeki Kızılçam ağaç türü odak noktası olarak belirlenmiştir. Kızılçamın Türkiye'deki yayılışı dikkate alınarak, üretilen veriler güncellenmelidir. Bunu yanında benzer şekilde ülkemizde yayılış gösteren tüm asli orman ağaç türlerinde toprak kaybı çalışmaları yürütülmeli ve meşcere bileşenleri ile toprak kaybı arasındaki ilişkiler ortaya konmalıdır.

Uzaktan algılama yöntemleri ile teknolojik imkanlar en üst seviyede kullanılarak, uydu görüntüleri ve hava fotoğraflarından mevcut orman yapıları analiz edilmeli ve her ağaç türü için "C bitki faktörü" denklemleri elde edilmeli, bununla birlikte toprak kaybı haritası oluşturularak planlamada etkin bir altlık olarak kullanılmalıdır.

Ormanların toprak koruma kapasitelerinin artırılmasına yönelik olarak fonksiyonel ve sürdürülebilir orman yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi önem taşımaktadır. Tam kapalı meşcerelerin oluşturulması, bu meşcerelerin yüksek toprak koruma kapasitesi sayesinde toprak koruma kontrolünde etkili bir yöntem sunmaktadır. Meşcere gelişim çağlarına göre planlama yapılarak, bileşenlerdeki değişimlerin izlenmesi ve ormanların sağlıklı şekilde gelişmesinin desteklenmesi önem arz etmektedir. Orman alanlarının eğim durumuna uygun toprak koruma tekniklerinin, örneğin teraslama ve erozyon önleyici bitki örtüsü gibi yöntemlerin yaygınlaştırılması gerekmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama teknolojilerinin etkin bir şekilde kullanımı, toprak kaybı ve meşcere bileşenlerinin daha detaylı ve doğru şekilde izlenmesini sağlayarak, yönetim stratejilerinin sürekli olarak gözden geçirilmesine ve iyileştirilmesine olanak tanıyacaktır. Bu öneriler, sürdürülebilir orman yönetimi ve toprak koruma çalışmalarının etkinliğini artırarak, erozyon kontrolü ve doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımına önemli katkılar sağlayacaktır.

Bu çalışmada elde edilen bulgulara dayanarak, sürdürülebilir orman yönetimi için toprak koruma odaklı stratejik eşik olarak idare süresinin 140 yıl olarak belirlenmesi önerilmektedir. Meşcere bileşenlerinin (ağaç sayısı, göğüs yüzeyi, hacim) 140 yıl süresince gelişimi göz önünde bulundurulduğunda, bu dönemin sonuna doğru meşcerenin toprak kaybı önleme kapasitesinin zirveye ulaştığı görülmüştür. Bu nedenle, idare süresinin 140 yıl olarak belirlenmesi, ormanların erozyon kontrolü açısından maksimum etkiyi sağlayarak, toprak kaybını minimize edebilecek bir yönetim süresi sunmaktadır. Böylelikle, toprak kaybı önlemede, toprak stabilitesini artırma ve orman ekosistemlerinin sürdürülebilirliğini sağlama açısından önemli katkılar sunacaktır. Bu öneri, toprak koruma işletme sınıflarının uzun vadeli planlama ve yönetiminde kritik bir eşik olarak değerlendirilmeli ve bu doğrultuda uygun orman yönetimi stratejileri geliştirilmelidir.

Elde edilen sonuçlar aynı zamanda eğim artışı ile meşcerelerin toprak koruma kapasitesi arasındaki ilişkiye dikkat çekerek, toprak koruma işletme sınıfları için öneriler sunmaktadır. Yönetmelikte toprak koruma işletme sınıfı için %60-79 aralığında belirlenmiş olan eğim değerinin %50 ve üzeri olacak şekilde güncellenmesi uygun olacaktır. Bununla birlikte, 4. eğim grubundaki meşcerelerin, kapalılık, bonitet ve gelişme çağı parametreleri çerçevesinde değerlendirilerek, risk altındaki alanların toprak koruma işletme sınıfına dahil edilmesi gerekmektedir. Bu yaklaşım, özellikle yüksek eğimli arazilerde toprağın stabilitesini artırarak, erozyonun azaltılması ve toprak kaybının önlenmesi açısından önemli katkı sağlayacaktır.

Bonitet, ormanların büyüme kapasitesini ve verimliliğini yansıtan önemli bir ölçüttür ve toprak kaybını önlemedeki etkisi oldukça belirgindir. Yüksek bonitet sınıflarında göğüs yüzeyi, hacim ve kök sistemlerinin daha gelişmiş olması, yağış sularının yüzey akışını azaltarak erozyon kontrolünde güçlü bir rol oynamaktadır. Bu gibi çalışmalarda, farklı bonitet sınıflarına göre ayrıntılı analizler ve sonuçların oluşturulması kritik öneme sahiptir. Her bir bonitet sınıfına özgü silvikültürel stratejiler geliştirilerek, ağaçların büyüme potansiyellerine uygun silvikültür planlarıyla toprak koruma kapasitesi artırılmalı ve böylece toprak kaybını önleme çalışmaları daha etkin yürütülmelidir.

KAYNAKÇA

- Akay, A. E., & Şakar, D. (2009). Erozyon Riski Taşıyan Çıplak Toprak Alanların Uydu Görüntüsü Ve Sayısal Arazi Modeli Kullanılarak Sınıflandırılması.
- Alevkayalı, Ç., & Abı, B. (2023). Mekân Tabanlı Toprak Erozyonu Tahmin Modelleri: Bildiklerimiz Değişiyor Mu?. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 21(2), 696-725.
- Alemdağ, Ş., 1962. Türkiye'deki Kızılcım Ormanlarının Gelişimi, Hasılatı ve Amenajman Esasları. Ormancılık Enstitüsü Yayınları, 160 s, Ankara.
- Anonim, (1978). Türkiye Arazi Varlığı. Toprak-Su Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Anonim, (1982). Türkiye Genel Toprak Amenajman Planlaması. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Asan, Ü. (1995). Orman Kaynaklarının Rasyonel Kullanımı ve Ülkemizdeki Durum. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*. 15-28. <https://doi.org/10.17099/jffiu.41396>
- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., & Williams, J. R. (1998). LargeArea Hydrologic Modeling and Assessment Part I: Model Development 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 73-89.
- Asan, Ü. (2009). 5 Şubat 2008 Tarihinde Yürürlüğe Giren Amenajman Yönetmeliğinin Uygulanmasına İlişkin Teknik Yönerge Taslağı, Basılmamış.
- Asan, Ü. (2010). Geçmişten Geleceğe Türkiye Orman Amenajmanı. Orman Amenajmanının Dünü, Bugünü ve Geleceği Çalıştayı Sonuç Bildirgesi ve Tebliğler, 42-76.
- Asan, Ü. (2017). Orman Amenajmanı, (Planlama Sistemleri), İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları No:5227/513, ISBN: 978-605-07-0617-8, İstanbul, 434 s.
- Asan, Ü., & Şengönül, K.(1987). Orman Formlarının Fonksiyonel Açıdan Karşılaştırılması. *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 37, 4, 52-67.
- Aydın, M. (2009). Gümüşhane-Torul Barajı Yağış Havzasında Arazi Kullanımına Göre WEPP (Water Erosion Prediction Project) Modeli ile Toprak Kayıplarının Belirlenmesi ve Alınması Gereken Önlemler. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 9(1), 54-65.
- Aydın, M., Ugiş, A., Akkuzu, E., & Ünal, S. (2017). Forest Fire Effects on Water Resources. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 17(4), 554-564. <https://doi.org/10.17475/kastorman.369008>

- Balcı, A.N., & Çepel, N. (1966). *Vejetasyonun Hidrolojik Devirdeki Rolü*. Orman Muhendisliği 1. Teknik Kongresi. Vural Matbaası, 1966 -Ankara.
- Başkent, E. Z., Keles, S., & Yolasigmaz, H. A. (2008). Comparing Multipurpose Forest Management with Timber Management, Incorporating Timber, Carbonan Doxygen Values: A casestudy. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23(2), 105-120.
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., ... & Panagos, P. (2017). An Assessment of the Global Impact Of 21st Century Landuse Change On Soil Erosion. *Nature communications*, 8(1), 1-13.
- Bozali, N. (2020). Koruma Amaçlı İşletilen Ormanların Optimal Kuruluşlarının Belirlenmesi. *Turkish Journal of ForestScience*, 4(1), 113-132.
- Bozali, N. (2021). Orman Fonksiyon Önceliklerinin Belirlenmesi: Çelikhan Plan Ünitesi Örneği. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23(1), 202-216. <https://doi.org/10.24011/barofd.822982>
- Burkhard, B., & Maes, J.(2017). *MappingEcosystem Services*, PensoftPublishers, Sofya, 375 s.
- Chandramohan, T., Venkatesh, B., & Balchand, A. N. (2015). Evaluation of Threesoil Erosion Modelsfor Small Watersheds. *AquaticProcedia*, 4, 1227-1234.
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., ... & Van Den Belt, M. (1997). Thevalue of theworld'secosystemservesandnaturalcapital. *nature*, 387(6630), 253-260.
- Cuceloglu, G., Abbaspour, K. C., & Ozturk, I. (2017). Assessingthe Water-Resources Potential of Istanbul by Using a Soiland Water Assessment Tool (SWAT) Hydrological Model. *Water*, 9(10), 814.
- Çanga, M., & Erpul, G. (1994). Toprak İşlemeli Tarım Alanlarında Erozyon ve Kontrolü. *Topraksu*, 3(2), 14-16.
- ÇEM, (2018). “DEMİS Türkiye Su Erozyonu İstatistikleri, Teknik Özet” Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, Türkiye
- Çepel, N. (1971). *Türkiye Orman Ekosistemleri Üzerine Araştırmalar*. İstanbul Üniversitesi Yayınları.
- Değerliyurt, M. (2013). Antakya Şehri ve Yakın Çevresinde Meydana Gelen Erozyonun Coğrafi Dağılışı ve Analizi.
- Değerliyurt, M. (2013). Zilli Dere Havzası'nda (İskenderun) CBS Tabanlı Erozyon Duyarlılık Analizi. *Türkiye Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 172(172), 257-272.

- Değerliyurt, M. (2014). Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Orman Yangınlarının Erozyona Etkisinin Belirlenmesi, Amanos Dağları Örneği. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (29).
- De Jong, S. M. (1994). Derivation of Vegetative Variables from a Landsat TM Image for Modelling Soil Erosion. *Earth Surface Processes and Land forms*, 19(2), 165-178.
- DPT, (2001), Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Tarımsal Politikalar ve Yapısal Düzenlemeler Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara.
- Dutta, S. (2016). Soilerosion, Sediment Yieldand Sedimentation of Reservoir: a review. *Modeling Earth Systemsand Environment*, 2, 1-18.
- Eisazadeh, L., Sokouti, R., Homae, M., & Pazira, E. (2012). Comparison of Empirical Models to Estimate soil Erosion and Sediment Yield in Micro Catchments. *Eurasian Journal of SoilScience*, 1(1), 28-33.
- El Kateb, H., Zhang, H., Zhang, P., & Mosandl, R. (2013). Soil Erosion and Surface Runoff on Different Vegetation Covers and Slope Gradients: A Field Experiment in Southern Shaanxi Province, China. *Catena*, 105, 1-10.
- Eraslan, İ. (1953). Türkiye'de Orman Amenajmanının Bugünkü ve Gelecekteki Ana Problemleri İ. Ü. Or. Fak. Dergisi, Seri B, Cilt 3, Sayı 1-2, İstanbul.
- Eraslan, İ. (1956). Türkiye’de Muhtelif Yaşlı Ormanların Optimal Kuruluşları Hakkında İlk Araştırmalar. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi A*, 7(2).
- Eraslan, İ. (1961). Türkiye’deki Ormanların Optimal Kuruluşları Hakkında Araştırmalar. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*. <https://doi.org/10.17099/jffiu.22255>
- Eraslan, İ. (1963). Umumi ve Türkiye Orman Amenajmanı, İ. Ü. Yayın No. 987/Or. Fak. No. 85, İstanbul.
- Eraslan, İ.(1965). Aynı Yaşlı Kuru Ormanlarında Aktüel Kuruluşların Optimal Kuruluşlara Götürülmesi Yolları. *Journal of theFaculty of Forestry Istanbul University* 25(2): 12-35
- Eraslan, İ. (1982). Orman Amenajmanı, İ. Ü. Orman Fakültesi Yayınları No: 3010/318.
- Erol, E., & Çanga, M.R. (2003). Coğrafi Bilgi Sistemi Tekniği Kullanılarak Erozyon Tehlikesinin Değerlendirilmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*. 10(2): 136–143.
- Erpul, G., & Deviren-Saygın, S. (2012). Ülkemizdeki Toprak Erozyonu Sorunu Üzerine: Ne Yapmalı?.*Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*. 1(1), 26 - 32.
- Eruz, E. (1969). Belgrad Orman'ında Birer Kayın, Meşe ve Çam Meşçeresinde Tesbit Edilen İntersepsiyon (Tepe Çatısında Yağışın Buharlaşması) Miktarları. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University| İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 83-99.

- Eswaran, H., Lal, R., & Reich, P. F. (2019). Land Degradation: an Overview. Response to Land Degradation, 20-35.
- Evcimen, B.S. (1972). Türkiye’de Aynıyaşlı Ormanların Optimal Kuruluşa Götürülmesi Hakkında Araştırmalar, Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü Yayını No: 555/52.
- Ewen, J., Parkin, G., & O’Connell, P.E. (2000). SHETRAN: Distribute Driver Basin Flowand Transport Modeling System. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of Hydrologic Engineering, 5, 250–58.
- Fıstıkoğlu, O., & Harmancıoğlu, N.B. (2002). Integration of GIS with USLE in Assessment of Soil Erosion. Water Resources Management, 16, 447-467.
- Flanagan, D. C., Gilley, J. E., & Franti, T. G. (2007). Water Erosion Prediction Project (WEPP): Development History, Model Capabilities, and Future Enhancements. Transactions of the ASABE, 50(5), 1603-1612.
- Ganasri, B.P., & Ramesh, H. (2016). Assessment of Soil Erosion by RUSLE Model Using Remote Sensing and GIS-A Case Study of Nethravathi Basin. Geosci. Front. 7, 953–961.
- Garg, P. K., & Harrison, A. R. (1992). Land degradation and Erosion Risk Analysis in SE Spain: A Geographic Information System Approach. Catena, 19(5), 411-425.
- Gül, A. (2001). Orman Amenajmanında İşlevsel Planlamanın Doğrusal Programlama İle Gerçekleştirilmesi. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 51(1), 117-132.
- Günsür, Ş. (1962). Toprak ve bitki ilişkileri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Güzenge, E. (2013). Orman Amenajmanında Yaş SınıflarıMetodunun Uygulanması, Karşılaşılan, Problemler ve Çözüm Önerileri, Ormancılıkta Sektörel Planlamanın 50. Yılı Uluslararası Sempozyumu, Bildiriler Kitabı,120-131 s.
- Hall, B., Motzkin, G., Foster, D. R., Syfert, M., & Burk, J. (2002). Three Hundred Years of Forestand Land-Use Change in Massachusetts, USA. Journal of Biogeography, 29(10-11): 1319-1335
- Hagr, E.(2019). Integrating Gum Production and Selected Forest Ecosystem Services into Forest Management Plans Using Linear Programming: A Case Study in Sudan, Institute of Natural and Applied Sciences, Master Thesis, 50+X pages, Trabzon.
- Hartanto, H., Prabhu, R., Widayat, A. S., & Asdak, C. (2003). Factors Affecting Runoff and Soil Erosion: Plot-Level Soil Loss Monitoring for Assessing Sustainability of Forest Management. Forest Ecology and Management, 180(1-3), 361-374.
- Igwe, P.U., Onuigbo, A.A., Chinedu, O.C., Ezeaku, I.I., & Muoneke, M.M. (2017). SoilErosion: A review of Models and Applications. International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS), 4 (12), 2456-1908.

- Kalıpsız, A.(1982). Orman Hasılat Bilgisi. I.V. Orman Fak. Yayın/arı, Yayın No: 3052/328
- Karabulut, M., & Küçükönder, M. (2008). Kahramanmaraş Ovası ve Çevresinde CBS Kullanılarak Erozyon Alanlarının Tespiti. KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 11(2), 14-22.
- Karaburun, A. (2010). Estimation of C Factor for Soil Erosion Modeling Using NDVI in BuyukcekmeceWatershed. Ozean Journal of Applied Sciences, 3(1), 77-85.
- Karahalil, U. (2003). Toprak Koruma ve Odun Üretimi Fonksiyonlarının Doğrusal Programlama ile Modellenmesi (Karanlıkdere Planlama Birimi Örneği). KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 84s.
- Karahalil, U. (2009). Korunan Orman Alanlarında Amenajman Planlarının Düzenlenmesi: Köprülü Kanyon Milli Parkı Örneği. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği ABD, Doktora Tezi, Trabzon, 172 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. 1241-1250.
- Keles, S., Karahalil, U., & Köse, S. (2005). Ormanların Toprak Koruma ve Su Üretimi Fonksiyonlarının Odun Üretimi ile Birlikte Planlanması, (Karanlıkdere Orman Planlama Birimi Örneği). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi, vol.8, no.1, 65-75.
- Keleş, S., Kadioğulları, A., & Başkent, E. (2005). Tamsayılı Programlama Tekniği ile Ormanların Çok Amaçlı Planlanması. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 21(1), 223-234.
- Keleş S., Yolaşğmaz, H.A., & Başkent, E.Z.(2007). Long-Term Modelling and Analyzing of Some Important Forest Ecosystem Values with Linear Programming. Fresenius Environ. Bull. 16 (8): 963-972
- Kenneth, G. R., George, R. F., Glenn, A. W., & Jeffrey, P. P. (1991). RUSLE: RevisedUniversal Soil Loss Equation. J. SoilWaterConserv, 46, 30-33.
- 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-EuropeanSoilErosion Risk Assessment: The PESERA Map, Version 1 October 2003. Explanation of Special PublicationIspra 2004 No.73 (S.P.I.04.73) EuropeanSoilBureauResearch Report No.16, EUR 21176, 18 s. ve 1 Harita (ISO B1 formatlı). Office forOfficial Publications of theEuropean Communities, Lüksemburg.
- Kirkby, M. J., Irvine, B. J., Jones, R. J., Govers, G., & Pesera Team. (2008). The PESERA Coarse Scale Erosion Model for Europe. I.–Model Rationale and Implementation. European Journal of Soil Science, 59(6), 1293-1306.

- Kirkby, M.J. (2003). Modelling erosion – the PESERA Project. The First SCAPE (Soil Conservation and Protection for Europe) Workshop in Alicante (ES), 14-16 June 2003, Amsterdam the Netherlands.
- Kirkby, M.J. (1998). Landscape modelling at regional to continental scales. In: *Process Modelling and Land form Evolution*, LNES 78 (ed. St Hergarten & H.J. Neugebauer), pp. 189–208. Springer Verlag, Berlin.
- Kirkby, M.J., Imeson, A.C., & Bergkamp, G. (1996). Scaling up processes and models from the field plot to the watershed and regional areas. *Journal of Soil & Water Conservation*, 51, 391–396.
- Koirala, P., Thakuri, S., Joshi, S., & Chauhan, R. (2019). Estimation of soil erosion in Nepal using a RUSLE modeling and geospatial tool. *Geosciences*, 9(4), 147.
- Kosmas, C., Danalatos, N. G., & Gerontidis, S. (2000). The Effect Of Land Parameters on Vegetation Performance and Degree of Erosion Under Mediterranean Conditions. *Catena*, 40(1), 3-17.
- Lin, Y. M., Cui, P., Ge, Y. G., Chen, C., Wang, D. J., Wu, C. Z., ... & Lin, H. (2014). The Succession Characteristics of Soil Erosion During Different Vegetation Succession Stages in Dry-Hot River Valley of Jinsha River, Upper Reaches of Yangtze River. *Ecological Engineering*, 62, 13-26.
- Laflen, J.M., L.J. Lane, & G.R. Foster. (1991). WEPP—A Next Generation of Erosion Prediction Technology. *Journal of Soil Water Conservation* 46(1): 34–38.
- Lane, M. B., & McDonald, G. (2002). Towards a General Model of Forest Management Through Time: Evidence from Australia, USA and Canada. *Land Use Policy*, 19(3): 193-206
- Mahara, G., Wang, C., Yang, K., Chen, S., Guo, J., Gao, Q., ... & Guo, X. (2016). The association between environmental factors and scarlet fever incidence in Beijing region: using GIS and spatial regression models. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(11), 1083.
- Merritt, W.S., Letcher, R.A., & Jakeman, A.J. (2003). A review of Erosion and sediment transport models. *Environmental, Modelling & Software* 18, 761–799. doi: 10.1016/S1364-8152(03)00078-1
- Mısıır, M. (2001). Çok Amaçlı Orman Amenajman Planlarının Coğrafi Bilgi Sistemlerine Dayalı Olarak amaç Programlama Yöntemiyle Düzenlenmesi (Ormanüstü Planlama Birimi Örneği), K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Mısıır, M. (2005). Çok Amaçlı Planlamanın Kavramsal Çatısı ve Örnek Uygulama, Kafkas Üniversitesi, Artvin Orman Fakültesi Dergisi, Cilt. 6, s 17-27.
- Mısıır, N., Mısıır, M., Karahalil, U., & Yavuz, H., (2007). Characterization of Soil Erosion and Its Implication to Forest Management. *Journal Of Environmental Biology*, vol.28, no.2, 185-191.

- Misir, N., & Misir, M. (2012). Modeling of Soil Erosion and Its Implication to Forest Management. In Research on Soil Erosion. IntechOpen.
- Morgan, R. P. C., Morgan, D. D. V., & Finney, H. J. (1984). A predictive model for assessment of soil erosion risk. *Journal of agricultural engineering research*, 30, 245-253.
- 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.
- 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.
- Neyişçi, T. (1987). Kızılçamın Ekolojisi. Kızılçam El Kitabı. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Muhtelif Yayınlar Serisi: 52, El Kitabı Serisi No: 2, s23-56, Ankara.
- Nguyen, L. T. M., Hoang, H. T., Ta, H. V., & Park, P. S. (2020). Comparison of mangrove stand development on accretion and erosion sites in Ca Mau, Vietnam. *Forests*, 11(6), 615.
- OGM, 2009. OGM Sürdürülebilir Orman Yönetimi Kriter ve Göstergeleri 2008 Yılı Raporu, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- OGM, 2017. Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planlarının Düzenlenmesine Ait Usul ve Esaslar (Tebliğ No: 299 –Yeni Hali), Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı, Ankara, 227 s.
- OGM, (2020), Türkiye Orman Varlığı. Orman Genel Müdürlüğü, Ankara, 56 s.
- OGM. (2023). Ormancılık İstatistikleri. Orman Genel Müdürlüğü, <https://www.ogm.gov.tr/tr/ormanlarimiz-sitesi/Pages/Resmi-Istatistikler.aspx>
- Özcan, A. U. (2016). CBS ve RUSLE teknolojisi yardımıyla Çankırı-Ekinne Göleti su toplama havzasında toprak kayıplarının tahmin edilmesi. TÜCAUM Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, 668-674.
- Özdemir, T. (1977). Antalya bölgesi orman toprakları ve kızılçam yayılımı. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- Özden, Ş., Özden, M. (1997). Türkiye Toprak Erozyon Tahmin Modeli, TURTEM, Başbakanlık Türkiye Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Özşahin, E. (2015). Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve analitik hiyerarşi süreci (AHS) kullanılarak Tekirdağ şehrinin heyelan duyarlılık analizi. *Eurasian Academy of Sciences Social Sciences Journal*, 50-71.

- Pan, J.H., & Wen, Y.(2014). Estimation of soil Erosion using RUSLE in Caijiamiao watershed China. *NatHazards*, 71 (3), 2187–2205.
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., & Montanarella, L. (2015). Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land use policy*, 48, 38-50.
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Yu, B., Klik, A., JaeLim, K., Yang, J.E., Ni, J., Miao, C., Chattopadhyay, N., Sadeghi, S.H., Hazbavi, Z., Zabihi, M., Larionov, G.A., Krasnov, S.F., Gorobets, A.V., Levi, Y., Erpul, G., Birkel, C., Hoyos, N., Naipal, V., Oliveira, P.T.S., Bonilla, C.A., Meddi, M., Nel, W., Al Dashti, H., Boni, M., Diodato, N., Van Oost, K., Nearing, M., & Ballabio, C. (2017). Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rain fall records. *Scientific Reports*, 7, 4175.
- 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. doi: 10.1016/j.catena.2016.08.002
- Parhizkar, M., Shabanpour, M., Zema, D. A., & Lucas-Borja, M. E. (2020). Rill erosion and soil quality in forest and deforested ecosystems with different morphological characteristics. *Resources*, 9(11), 129.
- Parsons, A.J., Wainwright, J., Powell, D.M, Kaduk, J., & Brazier, R.E. (2004). A conceptual model for determining soil Erosion by water. *Earth Surface Processes and Land forms*, 29, 1293-1302. doi: 10.1002/esp.1096
- Quezel, P. (1977). Forest of the Mediterranean Basin. In *Mediterranean forest and maquis: Ecology, conservation and management* (MAB Technical Notes No. 2). UNESCO.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., & Porter, J.P. (1991). RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 46, 30-33.
- Renard, K.G., Foster, G.A., Weesies, D.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). *Agriculture Handbook No. 703*. USDA, Washington, DC.
- Renschler, C.S., Harbor, J. (2002). Soil Erosion assessment tools from point to regional scales-the role of geomorphologists in land management research and implementation. *Geomorphology*, 47, 189–209. doi: 10.1016/S0169-555X(02)00082-X
- Römkens, M. J. M., S. N. Prasad, & J. W. A. Poesen. (1986). Soil erodibility and properties. In *Proc. of the 13th Congress of the Intl. Soil Science Society* 5: 492–504.
- Schmithüsen, F. J. (2013). Three hundred years of applied sustainability in forestry". Working papers/Forest Policy and Forest Economics/International series, Unasylva 2013/1, Volume 64 No 240: 3-11. Zurich I Switzerland

- Selkimäki, M., González-Olabarria, J. R., & Pukkala, T. (2012). Site and stand characteristics related to surface erosion occurrence in forests of Catalonia (Spain). *European Journal of Forest Research*, 131, 727-738.
- Spearman, C. (1904). The proof and measurement of association between two things. *American Journal of Psychology*, 15, 72-101.
- Sun, D., Zhang, W., Lin, Y., Liu, Z., Shen, W., Zhou, L., ... & Fu, S. (2018). Soil erosion and water retention varies with plantation type and age. *Forest Ecology and Management*, 422, 1-10.
- Şahin, A., Çağlayan, İ., Büyük, H., Karademir, H., vd. (2022). Türkiye'nin ilk orman planlama ünitesindeki teknik ve yapısal değişimlerin 100 yıllık değerlendirilmesi. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 9(1), 12-34. <https://doi.org/10.17568/ogmoad.977763>
- Tağıl, Ş. (2007). Land degradation risk assessmentfor Tuzla Creekbasin (Biga Peninsula) using a GIS-based RUSLE model.
- Thapa, P., & Upadhyaya, P. S. (2019). Vulnerability assessment of indigenous communities to climate change in Nepal. *J. of Land management and Geomatics Education*.
- Torri, D., Poesen, J., & Borselli, L. (1997) Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset. *Catena* 31, 1-22.
- Tucker, C. (1979). Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, 8, 127150.
- Tüfekçioğlu, M., & Yavuz, M. (2016). Yusufeli mikro havzasında (Artvin) yüzey erozyonu toprak kaybının tahmin edilmesi ve erozyon risk haritasının oluşturulması.
- UNEP, (2015). Guidance on Organizational Life CycleAssessment. Life-CycleInitiative, United Nations Environment Programme and Society for Environmental Toxicology and Chemistry, Paris, France, http://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2015/04/o-lca_24.4.15-web.pdf
- URL-1. (2024, Temmuz 7).<https://gisgeography.com/sentinel-2-bands-combinations/>
- Van der Knijff, J. M. F., Jones, R. J. A., & Montanarella, L. (1999). Soilerosion risk assessment in Italy (p. 52). Brussels, Belgium: European Soil Bureau, European Commission.
- Vatandaşlar, C. (2015). Toprak erozyonu risk analizinde bitki örtüsü ve ürün yönetimi faktörünün (C-faktör) uzaktan algılama yöntemleriyle tahmini. *Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, Artvin.*
- Vatandaşlar, C. (2020). Orman ekosistemlerinin erozyonu önleme fonksiyonunun amenajman planlama sürecine entegrasyonu. *Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doktora tezi, Artvin.*

- Vatandaşlar, C. (2021). Orman fonksiyonu mu ekosistem hizmeti mi? *Turkish Journal of Forestry*, 22(2): 171-185. DOI: 10.18182/tjf.892837
- Wei, H., Zhao, W., & Wang, H. (2021). Effects of vegetation restoration on soil erosion on the Loess Plateau: A case study in the Ansai watershed. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(12), 6266.
- Williams, J. R., & Berndt, H. D. (1977). Sediment yield prediction based on watershed hydrology. *Transactions of the ASAE*, 20(6), 1100-1104.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1965). Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and Water conservation (No. 282). Agricultural Research Service, US Department of Agriculture.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall Erosion losses: a guide to conservation planning (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.
- Yavuz, M., & Tufekcioglu, M. (2019). Estimating surface soil losses in the mountainous semi-arid watershed using RUSLE and geospatial technologies. *Fresenius Environ. Bull*, 28(4), 2589-2598.
- Yılmaz, E., Abbak, A., Kırış, R., & Sayın, M. A. (2015). Orman amenajman planlamasının sosyal boyutu: Pozantı Orman İşletme Şefliğinde örnek uygulama. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 1(2 A), 35-50.
- Zech, W., & Çepel, N., (1972). Güney Anadolu'daki Bazı Kızılçam Meşcerelerinin Gelişimi ile Toprak ve Reliyef Özellikleri Arasındaki İlişkiler. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayın No:191.
- Zengin, H., Bozali, N., Asan, Ü., Destan, S., & Değirmenci, A.S.(2012). Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Planlamada Tamsayılı Programlama ile Optimizasyon, *KSÜ Mühendislik Bil. Der.*, Özel Sayı, 183-190.
- Zengin, H., Asan, Ü., Destan, S., Engin Ünal, M., Yeşil, A., Bettinger, P., & Değirmenci, A.S., (2015). Modeling Harvest Scheduling in Multifunctional Planning of Forests for Longterm Water Yield Optimization. *Natural Resource Modeling*, 28: 59-85. <https://doi.org/10.1111/nrm.12057>

ÖZGEÇMİŞ

Süleyman BORUCU, 2002 yılında Silifke Lisesi'nden mezun olduktan sonra 2004 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Mühendisliği Bölümü'ne girmiş ve 2010 yılında buradan mezun olmuştur. 2011 yılında aynı üniversitede Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitime başlamış ve 2015 yılında bu programı tamamlamıştır. Aynı yıl doktora eğitime başlamıştır. 2020 yılında Orman Genel Müdürlüğü'ne atanmış, Pazar Orman İşletme Müdürlüğü, Şenyuva Orman İşletme Şefi olarak görev yapmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.

