

ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ

TATLIÇAY HAVZASININ (ÇANKIRI) EROZYON DUYARLILIK
DEĞERLENDİRMESİ

Rabileh Ali DJAMA

ÇANKIRI

2024

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Rabileh Ali DJAMA tarafından hazırlanan “**TATLIÇAY HAVZASININ (ÇANKIRI) EROZYON DUYARLILIK DEĞERLENDİRMESİ**” adlı tez çalışması 08/08/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir

Danışman : Prof. Dr. Ceyhun GÖL

Jüri Üyeleri :

Başkan : Prof. Dr. Ceyhun GÖL
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Said ÖZÇELİK
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Üye : Doç.Dr. Ali Uğur ÖZCAN
Peyzaj Planlama ve Tasarımı Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ersoy YILMAZ
Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum **“TATLIÇAY HAVZASININ (ÇANKIRI) EROZYON DUYARLILIK DEĞERLENDİRMESİ”** konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan “Bilimsel İntihal Tespit Programı” ile tarandığını, “intihal içermediğini” beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (22/11/2024).

Rabileh Ali DJAMA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TATLIÇAY HAVZASININ (ÇANKIRI) EROZYON DUYARLILIK DEĞERLENDİRMESİ

Rabileh Ali DJAMA

**Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Ceyhun GÖL

Bu çalışmada, Yenilenmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (YETKE/RUSLE) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yöntemler kullanılarak, Tatlıçay Havzasında toprak erozyon haritası çıkarılmıştır. Sonuç olarak, YETKE yönteminin yağış ve yüzey akış aşındırma enerjisi, toprak erozyon duyarlılığı, eğim uzunluğu ve dikliği ve bitkisel örtü ve ürün yönetimi değişkenleri hesaplanarak, ilgili su toplama havzasına gelmesi olası ortalama toprak miktarı ($\text{ton ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$) belirlenmiştir. Araştırma, yıllık ortalama 410 mm yağışın, özellikle şiddetli yağışlar sırasında, yıllık $35 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ R faktörü ile toprak erozyonunu şiddetlendirdiği belirlenmiştir. Dik yamaçlar, 0 ile 25 arasında değişen LS faktörünü artırarak bazı bölgeleri daha savunmasız hale getirmektedir. Bölgedeki çeşitli toprak tipleri, ortalama 0,034 olan K faktörü ile erozyon duyarlılığını etkilemektedir. Yoğun bitki örtüsü, C faktörünü 0,01'e düşürerek erozyon riskini azaltırken, yönetilemeyen alanlar C faktörü 1'e kadar çıkabilmekte ve böylece erozyona daha hassas hale getirmektedir. R, K, LS, C ve P faktörlerinin entegrasyonu, havzada yıllık ortalama hektar başına $39,60 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ toprak kaybını ortaya koymuştur. Havzanın %92'sinde çok hafif, %7'sinde hafif, %0,18'inde orta, %0,02'sinde şiddetli ve %0,003'ünde çok şiddetli erozyon olduğu belirlenmiştir. Elde edilen veriler havzanın su erozyonuna karşı hassas olduğunu göstermiştir.

2024, 58sayfa

Anahtar Kelimeler: Erozyon, CBS, RUSLE, Tatlıçay Havzası, Çankırı

ABSTRACT

Master Thesis

Evaluation of Erosion Susceptibility of The Watershed of Tatlıçay (Çankırı)

Rabileh Ali DJAMA

**Çankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Forest Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Ceyhun GÖL

In this study, by using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) along with Geographic Information Systems (GIS) and geo-statistical methods, a soil erosion map of Tatlıçay Watershed was obtained. Finally, by the estimation of the rainfall-runoff erosivity factor, soil erodibility factor, slope length and steepness factor and cover management factor of USLE/RUSLE technology, the average amount of soil (ton ha⁻¹ year⁻¹) to be likely transported by water erosion into the catchment of Tatlıçay Watershed was calculated.

The research determined that an annual average rainfall of 410 mm, particularly during intense rainfall events, exacerbates soil erosion with an annual R factor of 35 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. Steep slopes increase the LS factor, ranging from 0 to 25, making certain areas more vulnerable. The region's diverse soil types influence erosion susceptibility with an average K factor of 0.034. Dense vegetation reduces erosion risk by lowering the C factor to 0.01, while unmanaged areas can see the C factor rise to 1, making them more susceptible to erosion. The integration of R, K, LS, C, and P factors reveals an annual soil loss of 39.60 tons ha⁻¹ year⁻¹ on average across the basin. The analysis found that 92% of the basin experiences very light erosion, 7% light, 0.18% moderate, 0.02% severe, and 0.003% very severe erosion. The data indicate the basin's sensitivity to water erosion.

2024, 55 pages

Keywords: Erosion, GIS, RUSLE, Tatlıçay Watershed, Çankırı

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

"Tatlıçay (Çankırı) Havzasının Erozyon Duyarlılığının Değerlendirilmesi" başlıklı bu çalışma,2024 yılında Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmalarımın başından sonuna kadar her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek, akademik ve insani engin fikirleriyle yetişmeme ve gelişmeme katkıda bulunan çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ceyhun GÖL' e (Çankırı Karatekin Üniversitesi), tez jüri hocalarım Sayın Doç. Dr. Ali Uğur ÖZCAN' a (Çankırı Karatekin Üniversitesi) ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Sait ÖZÇELİK' e (Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi) saygı, minnet ve şükranlarımı sunarım. Çalışmam sırasında her türlü desteği sağlayan ve analiz sonuçlarının değerlendirilmesine yardım eden Sayın Doç. Dr. Ali Uğur ÖZCAN' a ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Semih EDİŞ'e (Çankırı Karatekin Üniversitesi) ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

İlk önce, tüm bu yıllar boyunca bana sağlık, sabır ve istek veren Yüce Allah'a şükürler olsun. Başka bir ülkeye geldiğimden bu yana, sevgi dolu sözleri ve tavsiyeleri, asla pes etmemem ve her zaman başımı dik tutmamı sağladıkları için anneme, babama, sevgili kardeşlerime ve beni destekleyen herkese teşekkür ederim.

RABİLEH ALI DJAMA

Çankırı, 2024.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
KISALTMALAR VE SEMBOLLER	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	4
3. MATERYAL VE METOT.....	15
3.1. Araştırma alanı	15
3.2. Yöntem	23
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	30
4.1. Eğim uzunluğu ve eğim dikliği (LS Faktörü).....	30
4.2. Yağış Erosivite (R) Faktörünün Belirlenmesi	31
4.3. Toprak Erodibilite (K) Faktörünün Belirlenmesi	33
4.4. Bitki Örtüsü faktörü (C)	35
4.5. Toprak Koruma Faktörü (P)	37
4.6. Potansiyel Toprak Kaybı (A).....	38
SONUÇVE ÖNERİLER	40
KAYNAKLAR.....	42
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

KISALTMALAR VE SEMBOLLER

': Dakika

': Saniye

%: Yüzde

°C: Santigrat derece

A: Yıllık Ortalama Toprak Kaybı

C: Bitki Amenajman Faktörü

CBS: Coğrafi Bilgi Sistemleri

CORINE: Çevresel Bilginin Koordinasyonu Projesi

SYM/DEM: Sayısal Yükseklik modeli

DSMW: Dünya Sayısal Toprak Haritası

EC: Elektriksel İletkenlik

FAO: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü

Ha: Hektar

K: Toprak Erodibilite Faktör

Km: Kilometre

Km²: Kilometrekare

LS: Eğim Uzunluğu ve Eğim Faktörü

M: Metre

MJ: Megajul/Megajoule

Mm: Milimetre

P: Toprak Koruma Faktörü

R: Yağış Eroziv Faktörü

YETKE/RUSLE: Revize Edilmiş Üniversal Toprak Kayıpları Eşitliği

USGS: Birleşik Devletler Jeolojik Araştırmalar Kurumu

ETKE/USLE: Üniversal Toprak Kaybı Eşitliği

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Su Erozyonu Aşamaları	5
Şekil 2.2 Damla erozyonu	6
Şekil 2.3a- Oluk ve b- oyuntu erozyonu	8
Şekil 2.4 Türkiye’de arazi kullanımına göre erozyon oranları (Erpul et al. 2018).	12
Şekil 3.1 Türkiye akarsu havzaları ve aşırma alanı drenaj haritası.....	16
Şekil 3.2 Tatlıçay havzasının yükselti haritası.....	17
Şekil 3.3 Tatlıçay havzasının eğim haritası	18
Şekil 3.4 Tatlıçay Havzası İklim Dağılım Haritası (Göl et al. 2017).....	19
Şekil 3.5 Tatlıçay havzasının jeoloji haritası	21
Şekil 3.6 Tatlıçay havzasının toprak haritası	22
Şekil 3.7 Tatlıçay havzasının arazi kullanım haritası	23
Şekil 3.8 YETKE/RUSLE yönteminin akış şeması	25
Şekil 4.1 Çalışma alanının LS Faktörü haritası.....	31
Şekil 4.2 Çalışma alanının RFaktörü haritası.....	32
Şekil 4.3 Çalışma alanının KFaktörü haritası	34
Şekil 4.4 Çalışma alanının C Faktörü haritası.....	37
Şekil 4.5 Tatlıçay Havzası Erozyon risk haritası	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Erozyon Tahmini için Farklı Modeller (Alparslan, 2021).....	14
Çizelge 3.1 Araştırma alanı yükselti dağılımı.....	17
Çizelge 3.2 Araştırma alanı eğim dağılım	18
Çizelge 3.3 Toprak tekstürü sınıfları ve kodları.....	27
Çizelge 4.1 Çalışma alanındaki LS değerlerinin alansal ve oransal dağılımı	30
Çizelge 4.2 Tatlıçay havzasındaki R faktörüne ait alan ve yüzde dağılımları.	32
Çizelge 4.3 Havzaya ait büyük toprak grupları ve K Faktör değerlerinin alansal dağılımı.....	33
Çizelge 4.4 Havzaya ait arazi kullanımları ve C Faktör değerlerinin alansal dağılımı	36
Çizelge 4.5. Erozyon riskinin alansal ve oransal dağılımları.....	39

1. GİRİŞ

Toprak, mineraller ve organik maddelerin karışımından oluşan, yaşam için gerekli dört unsurlardan biridir. Toprak, hava, su ve güneş ışığı ile tüm canlılara gerekli besin maddelerini sağlar. Toprağın bulunmadığı bir ortam, ekosistemden yoksun bir yer haline gelir ve yaşamın sürdürülemediği, Ay gibi bir yer olarak tanımlanır (Akalan 1983).

Toprak, birkaç milimetreden birkaç metreye kadar değişebilen kalınlıklara sahip, Dünya'nın litosferinin gevşek üst tabakasıdır. Bitki büyümesi için doğal bir ortam ve destek görevi gören organik ve mineral bileşenlerin bir karışımından oluşur (Gobat 2010).

Toprağın insanlar, hayvanlar ve bitkiler üzerindeki etkileri derindir. Biyolojik, ekolojik, ekonomik ve kültürel işlevleri nedeniyle en önemli doğal kaynaklarımızdan biridir. Ancak uygun önlemler alınmaması, aşırı ve özensiz kullanım ve doğal kuvvetlere karşı yetersiz koruma nedeniyle, önemli konumunu kaybeden topraklarımız giderek kaybolmaktadır (Alparslan 2021). Toprağın bozulmasını ve erozyonu en aza indirmek için, sürdürülebilir toprak yönetimi hayati önem taşır ve insanlar topraklarını korumak ve bu erozyon sorununu durdurmak için çalışmaktadır.

Toprak erozyonu, topoğrafya, iklim, toprak özellikleri ve arazi kullanımı gibi çeşitli faktörlerden dolayı meydana gelen doğal bir olgudur. Ancak tarım, kentselleşme ve yol yapımı gibi insan faaliyetleri toprak erozyonunu şiddetlendirebilir ve böylece verimli toprak kaybına ve su kalitesinin azalmasına neden olabilir (Lagasse 2005). Ek olarak, toprak erozyonu tarımsal üretimin azalmasına, su arıtma masraflarının artmasına ve altyapının zarar görmesine neden olabilir (Liu 2021). Türkiye'nin ülkenin yaklaşık %56'sını oluşturan dağlık arazisi, elemanlardan erozyona karşı hassas yapar. Doğal erozyon, topografya, iklim, bitki örtüsü ve toprak özellikleri gibi çeşitli değişkenlerden kaynaklanır. İnsan faaliyetleri erozyonu önemli ölçüde hızlandırır. Türkiye'nin yüksek ortalama rakımı ve nehirlerin denge profillerinden uzaklığı erozyon oluşumunu kolaylaştırır. Özellikle sağanak yağışlar ile düzensiz yağış desenleri erozyonu hızlandırır (Özhan 2004).

Su, doğal döngüsündeyken bulunduğu çevre ile etkileşim halindedir. Bu yüzden bulunduğu çevredeki temas ettiği tüm canlıların yaşam kalitesini ve sürdürülebilirliğini belirlemektedir. Canlı hayatı için temiz su kaynakları, temiz hava gibi oldukça öneme sahiptir. Temiz su kaynaklarının, yeryüzündeki nüfus ve kıtasal dağılımla denge içinde olmadığı bilinmektedir. Ayrıca var olan kaynaklar doğal ya da antropojenik tehditler altındadır. Temiz suyun bulunduğu en bilindik ve en önemli kaynak, akarsu ekosistemidir. Diğer tüm temiz su kaynakları gibi akarsular da doğal ve antropojenik baskı ile tehdit altındadır. Bu yüzden bu baskılar tanımlanmalı ve yarattığı kirlilik yükleri tespit edilmelidir. Bu tespitleri yapacak en doğru araçlardan biri hidrolojik modellerdir. Havza ölçeğinde uygulanacak hidrolojik modeller, parametre ölçümü zor kesimlerde dahi eldeki mevcut veriden üreteceği sonuçlarla, maliyet ve zaman kazancı sağlayacaktır (Germeç 2022).

Bu bağlamda, toprak erozyonuna duyarlılığın değerlendirilmesi, toprak kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için önemli bir konudur. Bu değerlendirme, belirli bir bölgede toprak erozyonunu etkileyen ana faktörleri anlamayı ve toprak erozyonunu azaltmaya yardımcı olabilecek arazi yönetimi uygulamalarını belirlemeyi sağlar. Bu çalışma, Türkiye'nin Çankırı ilinde bulunan Tatlıçay havzasının erozyon hassasiyetini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Tatlıçay havzasındaki toprak erozyon hassasiyetini değerlendirmek içinse SEAGIS (DHI, 2002) (Toprak Erozyon Değerlendirme Coğrafi Bilgi Sistemi) modelini kullanılmıştır. SEAGIS modeli, su kaynaklı toprak erozyonunu değerlendirmek için YETKE/RUSLE (Revize Universal Toprak Kaybı Denklemi) yöntemini kullanır ve yağış erozivite faktörü (R), toprak erodibilite faktörü (K), topografik faktör (LS), bitki örtüsü faktörü (C) ve toprak yönetimi uygulama faktörü (P) olmak üzere altı parametre kullanır (Renard 1997).

Bu araştırma, bölgedeki toprak erozyonunu etkileyen ana faktörleri daha iyi anlamamıza ve toprak erozyonunu en aza indirmeye yardımcı olabilecek arazi yönetimi uygulamalarını belirlememize olanak sağlayacaktır

Bu tez çalışmasının aşağıdaki bölümlerinde:

- Toprak erozyonu ile ilgili tanımlar ve anahtar kavramlar, toprak erozyonunu etkileyen ana faktörler, erozyon hassasiyetinin değerlendirilmesi için kullanılan yöntemler ve

Tatlıçay havzasındaki önceki toprak erozyonu çalışmalarını araştıran bir literatür taraması sunulmuştur.

- Materyal ve yöntemler bölümünde, Tatlıçay havzası olarak adlandırılan çalışma alanını, topoğrafya, bitki örtüsü, arazi kullanımı, jeoloji, yağış ve diğer ilgili faktörler üzerindeki veri toplama yöntemini açıklayacağız. Ayrıca, SEAGIS modelinin (YETKE/RUSLE) erozyon hassasiyetini değerlendirmek için nasıl kullanıldığını ve verilerin nasıl istatistiksel olarak analiz edildiğini açıklanmıştır.
- Sonuçlar bölümünde, istatistiksel analizin sonuçları, çalışma alanındaki erozyon hassasiyeti haritası ve SEAGIS modelinin doğruluğunun değerlendirilmesi sunulmuştur.
- Bu bölümde, sonuçları yorumları önceki çalışmalar ile harmanlanarak, Tatlıçay havzasındaki toprak erozyonunu etkileyen ana faktörleri belirlenmiş, çalışmanın belirsizliklerini ve sınırlarını değerlendirerek ve Tatlıçay havzası arazi yönetimi için öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Ormansızlaşmaya, aşırı otlatmaya ve toprak erozyonuna neden olan nüfus artışı nedeniyle toprak ve su kaynakları sıklıkla tehdit altındadır (Hurni et al.1985). Su erozyonu, genellikle yüzey akışı ve toprağa artık nüfuz edemeyen yağmur tarafından tetiklenen karmaşık bir olgudur.

Erozyon, toprak yüzeyinde su, rüzgâr, insan veya sadece yerçekimi etkisiyle malzemelerin hareket etme fenomeni olarak tanımlanabilir (Girard et al. 2005). Yağışlar ve yüzey akışlarıyla toprak parçacıklarının ayrılma süreçleri, bu parçacıkların yüzey akışlarıyla taşınması ve yamaçlarda ve akarsularda yüzey akışlarının izlediği yol boyunca biriktirilmesi ile karakterize doğal bir olaydır (Foster and Meyer 1972).

Roose1973'a göre, yağışın kinetik enerjisi, belirli bir zaman dilimi boyunca yağış yüksekliği ve yoğunluğunu içeren, erozyon olaylarının temel nedenidir. Akış, toprak parçacıkların taşıyıcısı olarak hareket ederken, aynı zamanda erozyona uğramış toprağı drenlere ve tarım hendeklerine taşır; burada askıdaki toprak parçacıkları nedeniyle su kalitesini değiştirebilir.

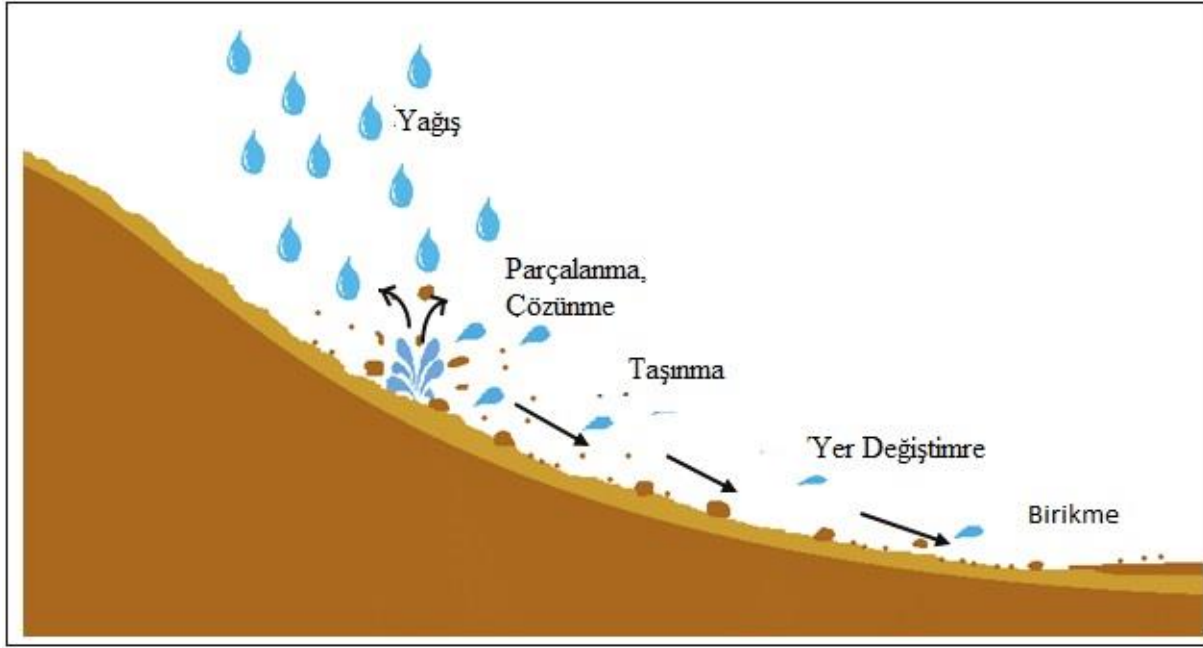
Yağış ve rüzgârın yanı sıra, toprak erozyonu aynı zamanda arazi kullanımının yoğunlaşması, toprak işleme, yapılaşma, aşırı otlatma, arazi kullanımı ve orman tahribatı gibi etkenlerle de tetiklenebilir (Roose et al.1993).

Toprak erozyonu, gıda güvenliği, tarımsal verimlilik, yüzey su depolama, yüzey su kalitesi, peyzajve doğal ekolojik denge için ciddi bir tehdit oluşturur. Çözüm, bu olguyu önlemek ve azaltmak için koruma uygulamalarını uyarlamakta yatmaktadır (Toumi 2013).

Su erozyonu, üç temel mekanizmanın sonucudur, parçacıkların ayrılması, taşınması ve birikmedir (Şekil 2.1) Toprak parçacıklarının ayrılması, yağmur ve yüzey akışı gibi iki erozyon ajanının etkisi altında gerçekleşir.

Yağış toprak erozyonunun önemli bir faktörü olarak kabul edilmektedir (Ellison 1944), Yağmur damlacıkları hem enerji hem de sağlar ve bu da toprak yüzeyindeki agregatların ayrışmasına neden olur (Boiffin et al.1976, Bissonnais et al. 1988). "Erozivite" terimi genellikle yağmurun erozyon yeteneğine atıfta bulunur (Bergsma et al. 1996). Bu, düşen

yağmur miktarına ve yağmur damlacıklarının boyutuna ve hızına bağlıdır. Toprak parçacıklarının yüzeyden ayrılarak taşınmasının ve yüzeye tekrar düşmeden önce taşınmasının nedeni, yağmur damlacıklarının toprak yüzeyine çarpmasının etkisiyle oluşur. " Sıçrama" terimi, bu toprak ve su karışımına atıfta bulunur (Şekil 2.2). Toprak yüzeylerde, sıçrayan parçacıklar erozyona neden olmaz, ancak eğimli alanlarda yamaçların aşağı doğru tercihli taşınması meydana gelir (De Ploey and Savat 1968).



Şekil 2.1 Su Erozyonu Aşamaları

Yüzey akışı, erozyonun temel bir hareketidir; toprak parçalarını ayırır, taşır ve ihraç eder (Leguédais 2003). Yüzey akışının parçacık ayrılma ve taşıma üzerindeki etkisini kontrol eden ana değişkenler eğim, akış hızı ve akış kalınlığıdır.



Şekil 2.2Damla erozyonu

Toprak parçacıkları, yüzey akışının etkisiyle sallanma, sıçrama ve çekme yoluyla daha uzun veya daha kısa mesafelerde yamaçların aşağısına taşınır (Chayma 2016). Tortu, memba kanal ağında ve yüksek arazilerde erozyon olarak başlar ve kanal yeterli akım gücüne sahip olduğunda mansaba doğru hareket eder. Suyun mansap bölgelerine taşıdığı çökelti miktarı doğrudan akış hızıyla ilişkilidir (Simon and Rinaldi 2006).

Sediment miktarı akış kapasitesinin altındaysa, toprak parçacıkları taşınabilir. Ancak, taşıma kapasitesi aşıldığında fazla sedimentler çöker. Sedimentlerin yüzey akışıyla taşınması, yağmur damlalarının su filmi üzerindeki etkisine bağlı olarak değişir. İnce ve geniş bir yüzeyde yayılmış düşük kalınlıktaki akış (diffüz erozyon) durumunda, yağmur taşıyan katı parçacıkların konsantrasyonunu ve boyutunu artırır (Chaplot and Le Bissonnais 2000, Beuselinck et al. 2002). Yerçekimi ve rüzgâr gibi diğer, daha az etkili faktörler de toprak parçacıklarının hareketini ve taşınmasını destekler.

Sedimentasyon veya birikme, sediment miktarını kontrol eden ve sınırlayabilen mekanizmadır. Akışın taşıma kapasitesi aşıldığında oluşur (Chayma 2016). Akış yavaşladığında, su erozyon sürecinin üçüncü aşaması gerçekleşir. Bu aşamada, önce daha büyük parçacıklar çökerken, daha ince parçacıklar daha uzun mesafelere taşınır. Bu olay, parçacık boyutu sıralaması olarak adlandırılır.

Yüzey erozyonu, su erozyonunun neden olduğu toprak bozunmasının ön aşamasını temsil eder. Bu, toprağın üst organik tabakasının çözünmesi ile birlikte derin toprakta gerçekleşen bir etkileşim sonucu çakıl taşlarının yüzeye çıkmasını içerir. Birkaç yağışlı olayın ardından toprak ince parçacıkları yağışlarla sürüklenirken, taşlar taşınması için çok ağır olduklarından yüzeyde birikirler (Roose 1973).

Yüzey erozyonunun genişliği, iki ana faktör tarafından belirlenir: yağışların yoğunluğu ve enerjisi, partiküllerin ayrılmasını teşvik eder ve akışı tetikler, aynı zamanda yağışların süresi de etkilidir. Partiküller, ardışık sıçramalarla hareket ederler (Chayma 2016).

Yüzey erozyonu, toprak parçacıklarını kısa mesafelerde "sıçrama" etkisi ile taşır. Sonrasında, yüzey akışı, su birikintileri oluştuğunda ve infiltrasyon olmayan su birikintisinden diğerine taşarak, parçacıkların daha uzun mesafelere taşınmasına izin veren bir şekilde meydana gelir (Roose 1994).

Yüzey akışı yoğunlaşıp hız kazandığında, artan eroziv gücü nedeniyle daha derin kanalerozyonu meydana gelir ve bu da toprakta giderek derinleşen doğrusal oyuklara yol açar (Foster et al. 1990, Moore and Foster, 1990; Poesen et al. 2003, Vanmaercke et al. 2021). Daha yüksek akış hızları, daha fazla tortu taşıma kapasitesiyle sonuçlanır. Daha küçük taşkın olayları asılı ince parçacıkları taşıyabilirken, daha büyük taşkın olayları çakıl, kaldırım taşı ve kayalar gibi daha büyük tortu parçacıklarını taşımak için gereklidir. Orta şiddetteki fırtınalar sırasında, büyük tortu parçacıkları genellikle kanal yatağında sıkışıp kalır ve bu da kanal boyunca tortu çubuklarının oluşmasına yol açar. Bu çubuklar kanal morfolojisini etkileyebilecek tortu birikimleridir. Sedimanların havzadan ayrılma süreci ve kanal sisteminin taşıma kapasitesi, belirli bir konumdaki sediman yükünü etkiler (Gurnell et al. 2002).

Kanallar birkaç santimetre derinliğe sahip olduğunda 'Oluk', 10 cm'den daha derin kanallar ise 'Oyuntu' olarak adlandırılır (Şekil 3.3). Aslında, bir havza veya arazide, oluk erozyonu, akışın arazinin çukurlarına yoğunlaşması sayesinde yüzey erozyonunun ardından meydana gelir. Bu aşamada, oluklar birleşmez, ancak paralel derecikler oluştururlar. Kanal yolları iyi dallanmış bir ağ oluşturduğunda ve metrik düzeyde bir derinliğe ulaştığında, bu durumda 'kanal erozyonu' olarak adlandırılır (Valentin et al. 2005).

Akarsu erozyonun, kanal erozyonu en ileri formunu temsil eder ve arazinin yüzeyine yayılmıştır. Bazı durumlarda, zemin sert olduğunda, akarsu kenarları erozyon yaparak genişler ve bu, taşınan çökelti maddelerinin ana kaynağını oluşturur (Ludwig et al. 1996, Chmelova et al. 2002, Rahmeti et al.2022).

Akarsuların içinde, tabanı hala otlak ve çoğunlukla çalılık bitki örtüsüyle kaplı küçük adacıklar gözlemlenebilir. Bu küçük adacıklar biyolojik yöntemlerle hızla stabil hale getirilebilir. Ancak, birkaç kilometre uzunluğundaki büyük oyuntularda, merkezi yatak kaya bloklarından oluşur ve bu, malzemelerin büyük ölçüde taşındığını ve güçlü bir akıntının varlığını gösterir (Hadir 2010).



Şekil 2.3a- Oluk ve b- oyuntu erozyonu

Toplu erozyon, toprakların erozyonuyla ilgili olarak yüzeyin üst tabakasında önemli miktarda toprağın hareketini içerir. Bu fenomen, kara hareketleri, çamur akıntıları ve toprak kaymaları gibi farklı şekillerde ortaya çıkar, özellikle dik eğimli arazilerde (Chayma 2016).

Toprak hareketleri, bir taraftan toprak kütlesi, depolanan su ve onu örten bitki örtüsü ile diğer taraftan aşındırılmış bir kayanın eğiminde yerleşik olan sürtünme kuvvetleri arasındaki

dengelesizlik nedeniyle meydana gelir. Bu hareketler, soliflüksiyonadı verilen bir sürecin sonucudur (Hadir 2010).

Erozyon faktörleri, iki temel türde ayrılabilir: doğal faktörler ve dört ana kategori altında toplanan topografya, iklim, litoloji ve bitki örtüsü gibi faktörler ile antropojenik faktörler.

Çeşitli araştırmacılar, topografyanın erozyon süreci üzerindeki etkisini göstermiştir. Birçok çalışma, topografyanın akış ve toprak kaybındaki rolünü ortaya koymuştur ve bunu iki bileşen aracılığıyla yapmıştır (Borst and Woodbrun 1940, Wischmeier and Smith 1978, Moore and Burch 1986)

Su erozyonu ile toprak kayıplarının belirlenmesinde en yaygın olarak kullanılan tahmin teknolojisi, ‘Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği/Yenilenmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği’ dir (ETKE/YETKE). Birbirinin devamı niteliğinde olan bu iki yöntemin İngilizce açılımı sırasıyla su şekildedir: “Universal SoilLossEquation”/“RevisedUniversal SoilLossEquation” (USLE/RUSLE) (Wishcmeier and Smith, 1965, 1978;Renard et al. 1991, 1997).

Yamaç uzunluğu (YETKE/RUSLE-L Faktörü) önemli bir rol oynar çünkü yamaç daha uzun olduğunda suyun çatlaklara veya oluklara yoğunlaşma eğilimi göstermesi, büyük miktarda su ve çökelti taşınmasına neden olur. Ayrıca, yamaç eğimi derecesi (YETKE/RUSLE-S Faktörü) de kritik bir rol oynar; eğim derecesi arttıkça akışın kinetik enerjisi ve toprak parçacıklarının ayrılabilirliği artar. Yarı kurak ve kurak çevrelerde, yüzeyi kaplayan kaya parçalarının varlığı, hatta dik yamaçlarda bile akışı ve toprak kaybını azaltır (Abrahams and Parsons 1991; Simanton and Toy 1994). Ayrıca, erozyon, dış bükey eğimlerde daha az şiddetli olup, iç bükey eğimlerde daha fazla meydana gelir (FAO 1976). Düz eğimler daha fazla toprak kaybı ile ilişkilendirilir (Roose 1999, Santisteban et al. 2005).

Erozyon, özellikle yağmurun yüzeyden toprak parçacıklarını ayırdığı durumlarla meydana gelir. Bir kez ayrıldıktan sonra, akan yağmur miktarı eğimlerden drenaj sistemine doğru sedimentlerin hareketini belirler. Yağmurun yüzeye ilk damla düştüğü anda başlayan etkisi, parçacıkların ayrılmasından sorumludur. Bu süreç, toprakların su erozyonunun ilk adımını oluşturur (Salles 2000). Yağışların erozivitesi, yağmurun erozyona yol açma potansiyelini tanımlar (Hudson 1973).

Bu erozivite, yağmurun özelliklerine (damla büyüklüğü, hızı, yağış şiddeti) ve toprak yüzeyinin durumuna bağlıdır. Yağışın özellikleri, rüzgâr etkisiyle (darbe hızının artışı, bitki örtüsü, toprak su koşulları) değiştirilebilir. Toprak erozyonunu etkileyen diğer iklim faktörleri arasında sıcaklık, mevsimsel fırtına varyasyonları, fırtınaların konumu, sıklığı ve rüzgâr rejimi yer alır. İklimin erozyon üzerindeki etkisini değerlendirmek, iklim parametrelerinin ve havza özelliklerinin değişkenliği nedeniyle zordur (White 1986, Römkens et al. 2002, Wang et al. 2017, Alavinia et al. 2019).

Toprağın erozyon süreçlerine duyarlılığına erozyon kabiliyeti denir. Bu, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır; doku, derinlik, taş içeriği ve organik madde miktarı gibi özellikler ile parçacıklar arasındaki yapışma (kohezyon) gibi etkenler etkilidir (Bayramin et al. 2008). Düşük kohezyon, yüksek erozyon kabiliyetine yol açar (Govers 1987, Govers et al. 1990, Wang et al. 2013).

Toprakların erozyon duyarlılığının, organik madde içeriği arttıkça azaldığını belirtmek önemlidir. Bu artış, agregaların ıslanma yeteneğini azaltır ve ıslaklık sırasında parçalanma riskini düşürür (Casenaves 1989). Toprakların erozyon duyarlılığını belirlemek ve erozyona karşı dirençlerini değerlendirmek için tekstür, organik madde ve agregatlaşma gibi üç temel özellik dikkate alınmalıdır (Bayramin et al. 2009, Saygın et al., 2011).

Mansouri (1991)'ye göre, bitki örtüsünün etkisi toprak erozyon sürecini yavaşlatmaktır. Bu, bitkilerin doğrudan yüzey akışını engellemesi ve topraklara koruma sağlaması anlamına gelir. Aynı zamanda dolaylı olarak, bitki örtüsü su dengesini ve toprağın fiziksel özelliklerini geliştirerek etkide bulunur; aynı zamanda bitki örtüsünün gelişme aşamasına da bağlıdır. Bitki örtüsü, toprağı erozyona karşı çeşitli yollarla korur. İlk olarak, yağmur damlalarını yakalar ve böylece yüzeye düşmelerini geciktirir. Bu, kinetik enerjinin dağılmasına yardımcı olur, böylece "sıçrama" etkisini azaltır. Ayrıca bitki örtüsü, suyun toprağa sızmasını teşvik eder ve kök sistemi aracılığıyla toprak stabilitesini korur. Son olarak, yüzeydeki bitki örtüsünün gelişimi çıplak bir toprağa göre yüzey akışını sınırlar.

Ormanlar ve özellikle örtü kapallılığı, tarım bitkileri veya boş tarım alanlarına göre toprağı daha etkili bir şekilde korur. Aslında, erozyona elverişli koşulları yaratan şey, bitki örtüsünün

eksikliğidir (Saygın et al.2014). Ayrıca, tabakanın varlığı da toprak erozyonuna karşı koruyucu bir rol oynar. Bitki örtüsünün büyümesi, bitki türüne, kullanılan tarım tekniklerine (yoğunluk ve dikim tarihi, gübreleme) ve yağış gibi iklim koşullarına bağlı olarak önemli ölçüde değişebilir (Özcan and Aytaş 2020, Öztürk and Özcan 2021). Bu bitki büyüme dinamiği ile yağış dinamiğinin kombinasyonu, erozyon riskinin büyüklüğünü belirler (Ben 2013).

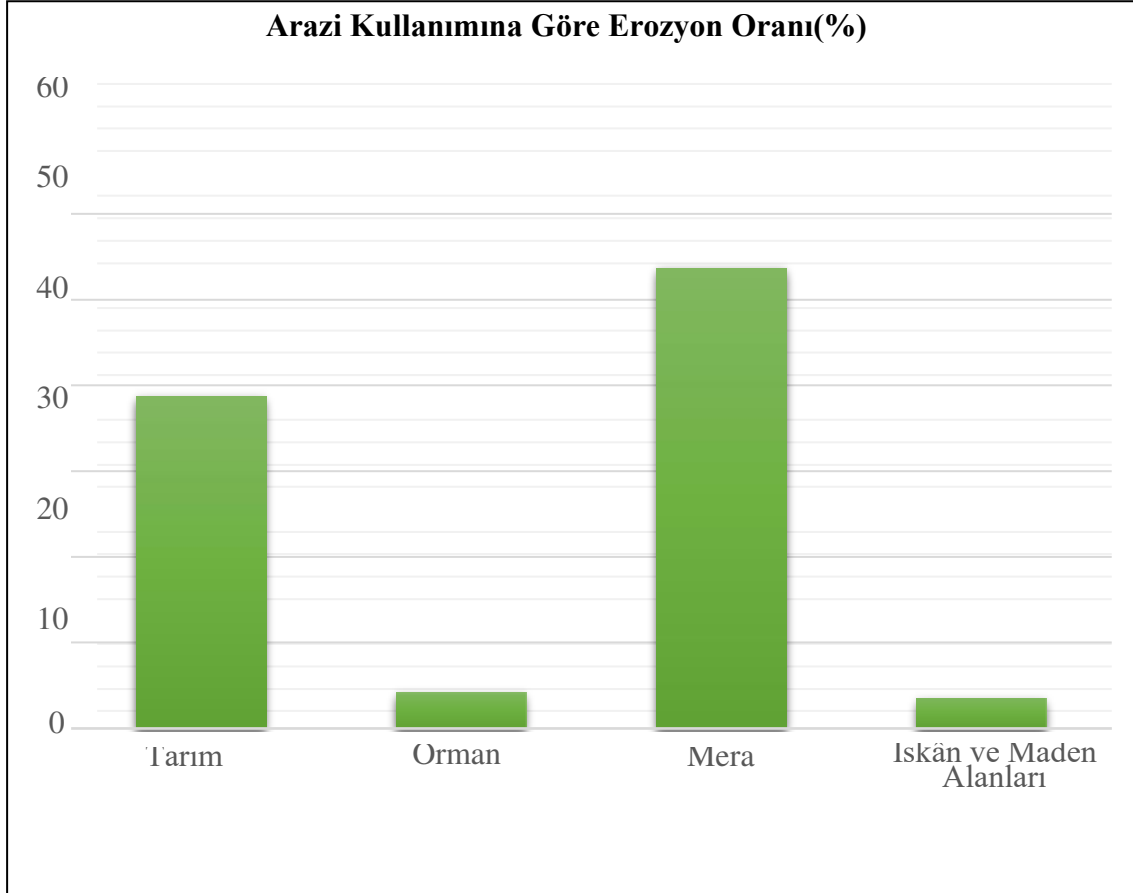
Toprak erozyonunun insan kaynaklı faktörleri, bu süreci hızlandıran insan eylemleri ve faaliyetlerinin doğrudan sonuçlarıdır. Bu faktörler arasında orman tahribatı, toprakların sıkışmasına yol açarak geçirgenliklerini azaltır ve suyun yüzey akışını teşvik eder. Tarımın yoğunlaştırılması, demografik büyüme ve kentleşme de toprak erozyonuna katkıda bulunan unsurlardır.

Yaklaşık olarak Türkiye'de 67 milyon hektarlık arazi erozyona maruz kalmaktadır, bu erozyonun büyük bir kısmı tarım arazilerinde gerçekleşmektedir. Tarım arazilerinin hatalı ve yanlış kullanımı, erozyon oluşumunda en önemli faktördür (Kantar and Dengiz 2015).

Erozyon, Türkiye'de olduğu gibi dünyanın birçok bölgesinde çevre ve peyzaj üzerinde önemli etkilere sahip olan doğal bir süreçtir. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı bir kurum olarak, Türkiye'deki erozyonun kökenini araştırmak ve anlamak için kapsamlı çalışmalar gerçekleştirmiştir (İnce et al. 2018, Erpul et al. 2018). Türkiye'nin erozyona katkıda bulunan birçok etmeni olduğu belirlenmiştir ve bu nedenle erozyonla mücadele daha karmaşık bir hale gelmektedir. Doğal kaynakların sürdürülebilirliğini korumak ve gıda güvenliğini sağlama ihtiyacını vurgulamak amacıyla veriler üretilmiştir. Bu verilere göre, Türkiye'nin topraklarının %59'unun %12'den fazla bir eğime sahip olduğu ve bunların %11,5'inin ciddi hatta çok ciddi erozyonla karşı karşıya olduğu tespit edilmiştir

Dinamik erozyon modeli ve izleme sistemi tarafından elde edilen verilere göre, Türkiye topraklarının %60,28'i çok hafif erozyon, %19,13'ü hafif erozyon, %7,93'ü orta derecede erozyon, %5,97'si ciddi erozyon ve %6,7'si çok ciddi erozyon ile karşıyadır (Erpul et al. 2018). Toprak kullanımı açısından, erozyon şu oranlarda gözlenmektedir: tarım alanlarında

%38,71, ormanlık alanlarda %4,17 ve mera alanlarında %53,66'da gerçekleştiği tahmin edilmektedir (Şekil 2.4) (Erpul et al. 2018).



Şekil 2.4Türkiye’de arazi kullanımına göre erozyon oranları (Erpul et al. 2018).

Sonuç olarak, Türkiye’de erozyon, çeşitli coğrafi özellikleri ve farklı iklim koşullarını içermesi nedeniyle ciddi bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Erozyonun olumsuz etkilerini önlemek ve çevrenin korunmasını sağlamak, ülkenin sosyo-ekonomik sürdürülebilirliğini güvence altına almak için toprak ve doğal kaynakların sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir.

Modelleme, yerinde gerçekliği küçültmek ve ilginç amaçlar için kullanabilmek için bir bilgisayar aracılığıyla sahadaki fiziksel olayların temsili olarak tanımlanmasıdır (Mourad 2005). Modellemenin kullanımı, toprak kaynaklarının korunması için karar verme sürecinde,

düzenleme şemalarının oluşturulmasında ve erozyon risklerinin değerlendirilmesinde yardımcı olabilir.

Bir model, dış etkilerin neden olduğu cevapların çok sayıda faktörün etkisi nedeniyle öngörülmesinin zor olduğu karmaşık bir sisteminkinin basitleştirilmiş bir temsili, fiziksel veya matematiksel olsun, olarak tanımlanır (Jetten 2003).

Erozyon ve tortu taşınımını tahmin etmek, yüzey suyu sistemlerindeki tortu taşıma süreçlerinin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını gerektirir (James et al. 2010). Uzun vadeli toprak kaybı miktarlarını mekânsal olarak tahmin etmek için çalışmalar yapılmıştır ve bu, farklı toprak kaybı modellerinin oluşturulmasına yol açmıştır. Dünyada toprak kayıplarının tahmin edilmesinde birçok istatistiki ve matematiksel modeller kullanılmaktadır (Panagos et al 2015, Borelli et al 2021, Andualem et al. 2023)

CORINE (Coordination de l'Information sur l'Environnement) modeli, Avrupa Komisyonu tarafından başlatıldı. Bu proje, doğal çevre hakkında bilgi toplamayı, izlemeyi ve çözüm odaklı çalışmalar yürütmeyi amaçlamaktadır. CORINE modelinde erozyonla ilgili risk analizleri, toprak erozyon hassasiyetinin hesaplanması, erozyon etkenleri, topoğrafik özellikler ve bitki örtüsü endeksleri gibi faktörlere dayanarak yapılmaktadır (Doğan and Denli 1999, Aydın and Tecimen 2010).

ANSWER (ArealNonpoint Source Watershed Environment ResponseSimulation) modeli, 1980 yılında Beasley ve meslektaşları tarafından geliştirildi ve yağış miktarı, toprak geçirgenliği, sediman taşıma ve parçalanma gibi parametrelerin yanı sıra akarsu parmaklarının ve kanalların bağlantısı gibi özel parametreleri kullanır (Savacı 2012, Yılmaz 2006).

USLE (Universal SoilLossEquation), Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı'nın toprak koruma bölümünde geliştirilen bir denklemdir ve uzun yıllar boyunca toprak kaybını hesaplamak için kullanılmış ve etkili sonuçlar vermiştir. USLE yöntemi, yağış (R faktörü), toprak özellikleri (K faktörü), bitki örtüsü (C faktörü), yamaç eğimi ve yamaç uzunluğu (LS faktörü) gibi parametreleri kullanır ve aynı zamanda toprak koruma önlemlerini içeren bir faktörü (P faktörü) de içerir (Wischmeier and Smith 1978).

USLE-M (Modified Universal SoilLossEquation) yöntemi, USLE yöntemini geliştiren Kinnel ve Risse tarafından 1998 yılında geliştirilmiştir. Bu yöntemde kullanılan parametreler, yüzey akış hacmi (Q faktörü), toprak erozyon hassasiyeti (K faktörü), topoğrafik faktör (LS faktörü), tarım uygulamaları faktörü (C faktörü) ve toprak koruma önlemleri faktörü (P faktörü) gibi faktörleri içerir (Kinnel and Risse 1998).

RUSLE (Révised Universal SoilLossEquation -Équationrévisée de perte de sol universelle) yöntemi, kullanım kolaylığı nedeniyle yaygın olarak kabul edilmektedir. Bu yöntem, USLE yönteminin geliştirilmiş ve değiştirilmiş bir versiyonu olarak Renard ve diğerleri tarafından 1997 yılında geliştirilmiştir. YETKE/RUSLE yöntemi, bozulmuş bölgeler, meralar ve ormanlar için de parametreler içermektedir (Renard et al. 1997). Bu yöntem, incelenen havzanın potansiyel yıllık toprak kaybını gerçekçi bir şekilde tahmin etmeye olanak tanır (Beskow et al. 2009). YETKE/RUSLE yönteminde kullanılan parametreler, yağış (R faktörü), bitki örtüsü (C faktörü), toprak özellikleri (K faktörü), yamaç eğimi ve yamaç uzunluğu (LS faktörü) ile toprak koruma önlemleri (P faktörü) gibi faktörleri içerir.

Çizelge 2.1Erozyon Tahmini için Farklı Modeller (Alparslan 2021).

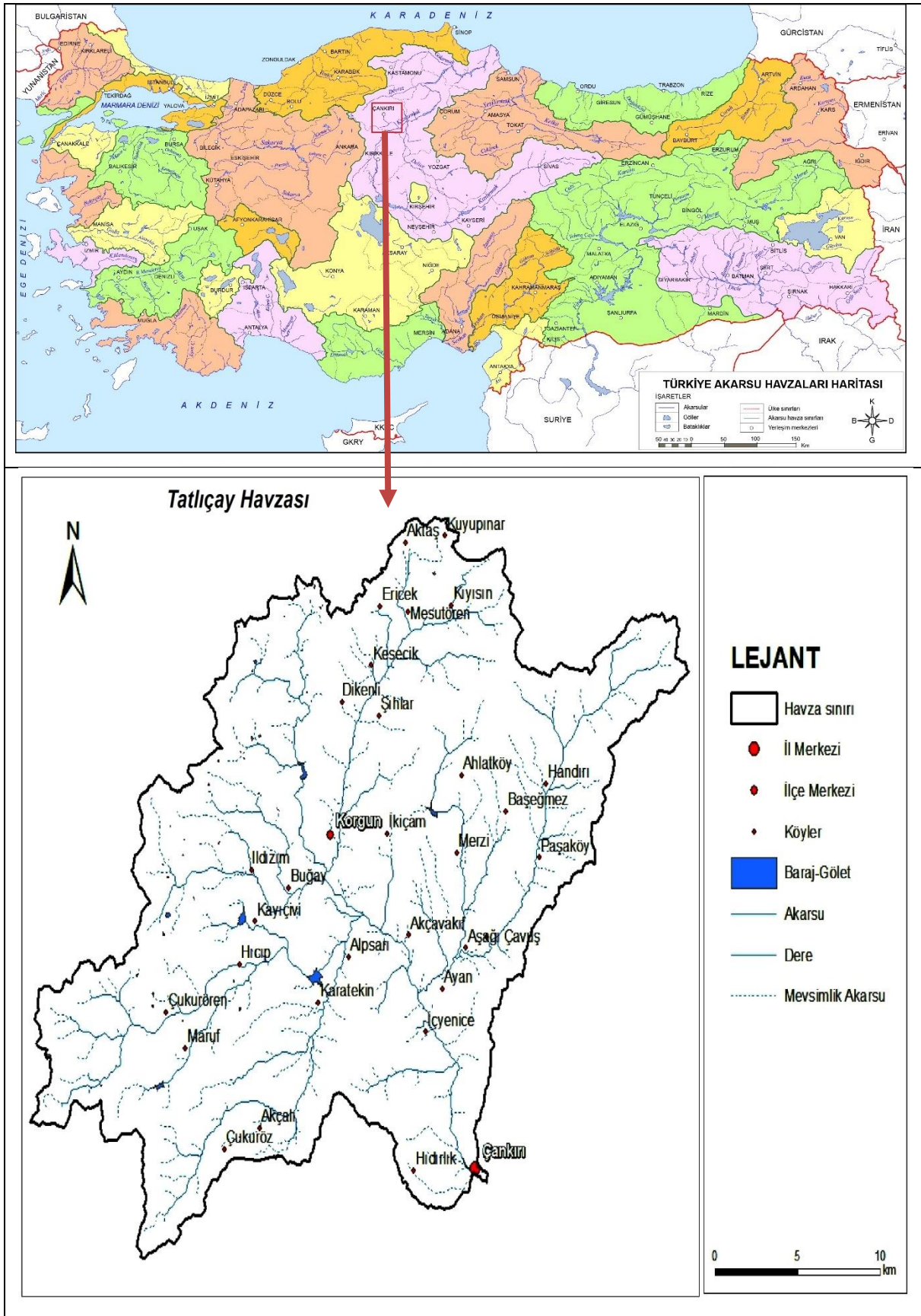
AGNPS(AgriculturalNon-point Source PollutionModel)	(Young 1987)
ANSWERS(ArealNon-pointSourceWatershedEnvironmentResponseSimulation)	(Beasley and Huggins and Monke 1980).
CORINE(Coordination of Information on theEnvironment)	(Çivi 2009)
EUROSEM(EuropeanSoilErosionModel)	(Morgan et al. 1998)
LISEM(LimburgSoilErosionModel)	(DeRoo et al. 1996a 1996b)
MMF(Morgan-Morgan-FineyModel)	(Morgan et al.1984)
PCARES(PredictingCatchmentRunoffandSoilErosionforSustainability)	(Paningbatan et al.2001)
PESERA(PanEuropeanSoilErosion RiskAssessmentModel)	(Irvine 2003)
SWAT(SoilandWaterAssessmentTool)	(Douglas mankin 2010)
USPED(UnitStreamPower-basedErosionDeposition)	(Mitasova et al.1996)
USLE(UniversalSoilLossEquation)	(Wischmeier and Smith 1978)
USLE-M(ModifiedUniversalSoilLossEquation)	(Kinnel and Risse 1998)
WEPP(WaterErosionPredictionProject)	(Flanagan and Nearing 1995)

3. MATERYAL VE METOT

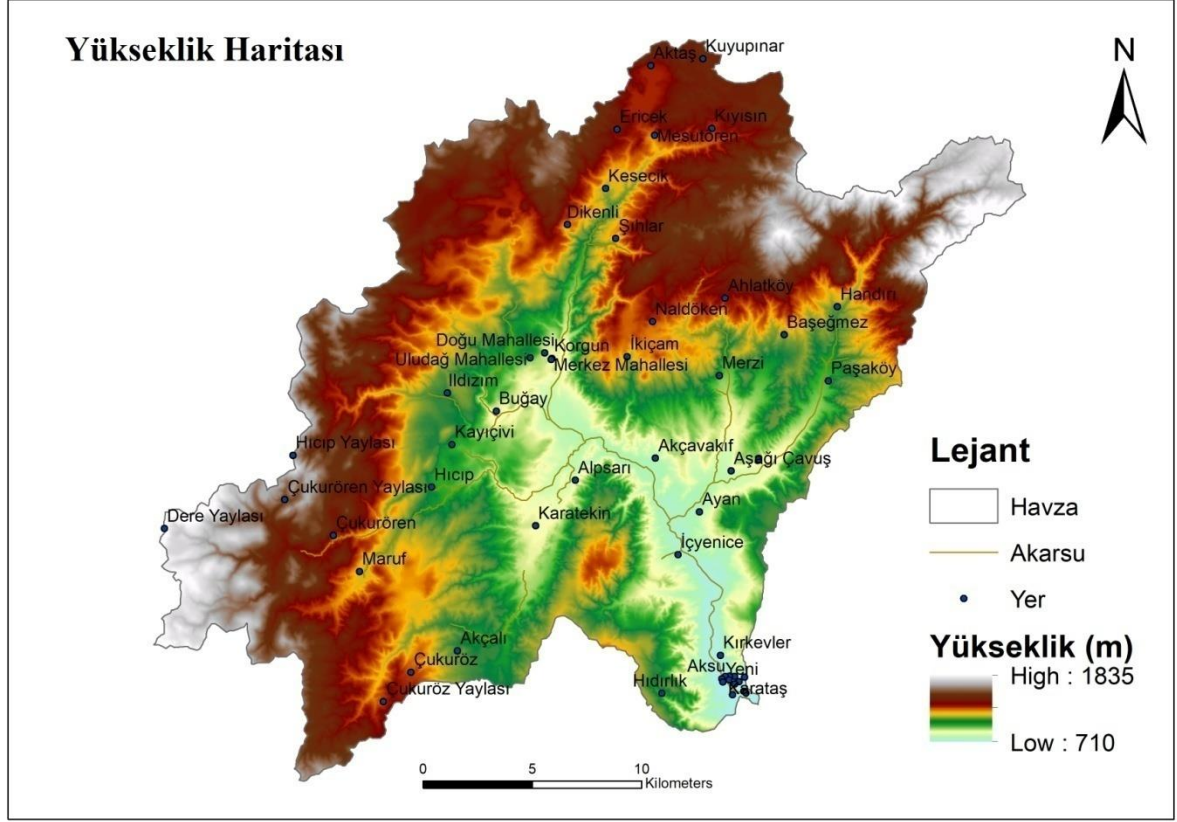
3.1.Araştırma alanı

Tatlıçay Havzası (Çankırı), ekolojik çeşitliliği nedeniyle seçilmiştir; bu, geniş bir bitki örtüsü, anakaya ve toprak çeşitliliğini içermektedir. Bu seçim ayrıca çölleşme ve su kaynaklarının yönetimi gibi giderek artan sorunlardan da etkilenmiştir. Çalışma alanı, kuzey enlemleri 40° 33' ile 40° 51' ve doğu boylamları 33° 17' ile 33° 46' arasında uzanmaktadır. Bu alan, Yapraklı ve Korgun ilçeleri ile Çankırı il merkezinin kuzeyinde yer alan bazı arazileri kapsamakta olup, Kızılırmak Havzası'nda bulunmaktadır (Şekil 3.1).

Tatlıçay Havzası, 67.317 km²lik bir alanı kaplamaktadır. Özhan (2004)'a göre, Tatlıçay Havzası büyük havzalar kategorisine girmektedir. Havzanın en düşük noktası 711 metre yükseklikteyken, en yüksek noktası 1848 metreye ulaşmaktadır. Yükselti haritasında (Şekil 3.2) görüldüğü gibi, en geniş yükseklik aralığı 1401 ile 1550 metre arasındadır. Tatlıçay havzasının ortalama yüksekliği Türkiye'nin ortalama yüksekliğinden (1130 m) daha yüksek hesaplanmıştır (Göl and Mevrük 2022).



Şekil 3.1 Türkiye akarsu havzaları ve aşırma alanı drenaj haritası



Şekil 3.2 Tatlıçay havzasının yükselti haritası

Çizelge 3.1 Araştırma alanı yükselti dağılımı

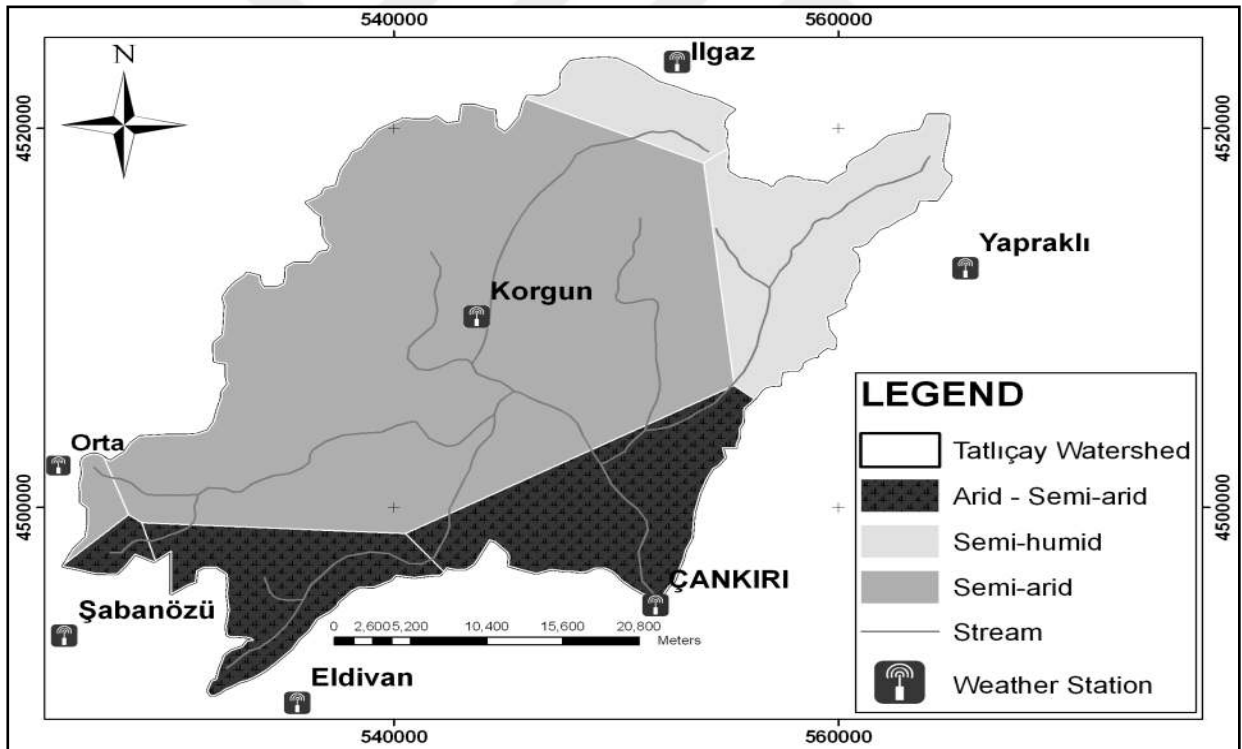
Yükselti Kademeleri (m)	Alan (ha)	Alan (%)
700-1000	25535.96	37.68
1000-1500	24759.25	36.53
1500+	17472.24	25.79

Havza bu yönüyle yüksek eğimli bir havzadır. Genel yükselti ve eğim ovalık kesime gelince düşmektedir. Vadi kesiminde %20'den fazla dik eğim görülmektedir. Tatlıçay Havzası eğim haritası Şekil 3.3'te verilmektedir. Bu durum, arazi kullanımı, bitki örtüsü, erozyon ve yerleşim alanlarının dağılımı üzerinde önemli bir etki yaratmıştır. Tatlıçay deresi ve kollarının yataklarında, düz veya düze yakın eğim sınıfında sulu tarım ve meyvecilik yayginken, bu alanların yamaçlarında otlatma faaliyetleri öne çıkmaktadır. Havzanın alt kısımlarındaki bozuk, tuzlu ve jipsli araziler ise kuru tarım ve bozuk mera alanı olarak değerlendirilmektedir. Eğim, toprak özellikleri ve yükselti gibi faktörler, Tatlıçay Havzası'ndaki arazi kullanımı, yerleşim yerlerinin dağılımı ve bitki örtüsünü etkilemiştir (Özçelik, 2013).

Veriler, havza alanının %21'inin yarı kurak bir iklimden etkilendiğini göstermektedir. Bu bölge, özel iklim özelliklerine sahiptir ve ılıman yağış ve nem seviyeleri ile karakterizedir, bu da bu tür iklimlere uyumlu bitki örtüsünün oluşmasına elverişli koşullar yaratır.

Havza alanının geri kalan %16'sında, iklim subhumide hakimdir ve daha fazla yağış ve yüksek nem içermektedir. Günlük ortalama sıcaklık 9,1 °C'dir ve yıllık ortalama yağış miktarı 530,8 mm'dir (Anonim 2010a 2010b). Bu bölge, daha çeşitli bitki örtüsü ve farklı ekolojik koşullara uygun bir ortam sunmaktadır (Göl et al. 2010).

Bu nedenle, bu detaylı meteorolojik sonuçlar, Tatlıçay Havzası içindeki iklim varyasyonlarını derinlemesine anlamamıza katkı sağlar. Havzanın yıllık ortalama yağış miktarı 391 mm'dir (Şekil 3.4), bu da Tatlıçay'ın genellikle yarı kurak ve kuru iklim etkisi altında olduğunu gösterir (Göl and Mevrük 2022).



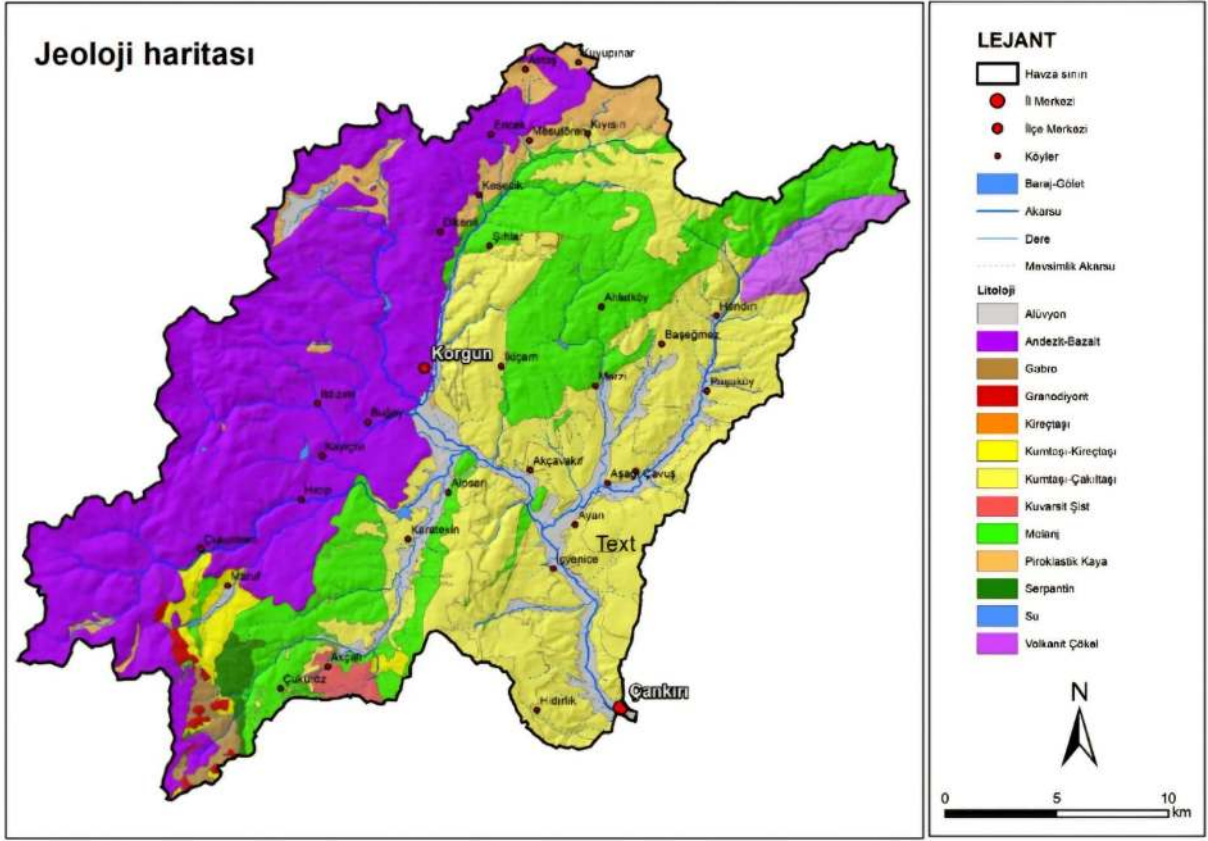
Şekil 3.4 Tatlıçay Havzası İklim Dağılım Haritası (Göl et al. 2017)

Tatlıçay bölgesi, çeşitli dönemlere ait jeolojik formasyonların varlığıyla belirginleşen çeşitli bir jeolojik bağlama sahiptir.

Bölgenin önemli bir kısmı, özellikle Oligo-Miyosen alçı serileri olarak bilinen formasyonlarla karakterizedir (Doğan 2002). Bu seri, kuzeydoğuda Yapraklı ilçesi, güneydoğuda Kızılırmak Nehri, güneyde Ankara il sınırı ve güneybatıda Eldivan ilçesi tarafından sınırlanan geniş bir alanı kapsar (Şekil 3.5) (Göl and Mervük 2022). Bölgenin jeolojik formasyonları, Oligo-Miyosen'e ait kalın alçı serileriyle karakterizedir ve bu formasyonlar, yoğun ve kırmızı bir temel konglomerası ile başlar. Bu tabakalar, açık renkli kil ve marn tabakaları arasına serpiştirilmiş alçı yataklarını içerir (Yüksel 2001). Alçı serisinin çeşitli yerlerinde miyosen oluşumlarının varlığını da gözlemlemekteyiz. Bu jeolojik yapı, Eosen'den sonra denizin bölgeden tamamen çekildiğini ve bölgede çöl ikliminin yerleştiğini kanıtlar (Doğan 2002, Ketin 1962).

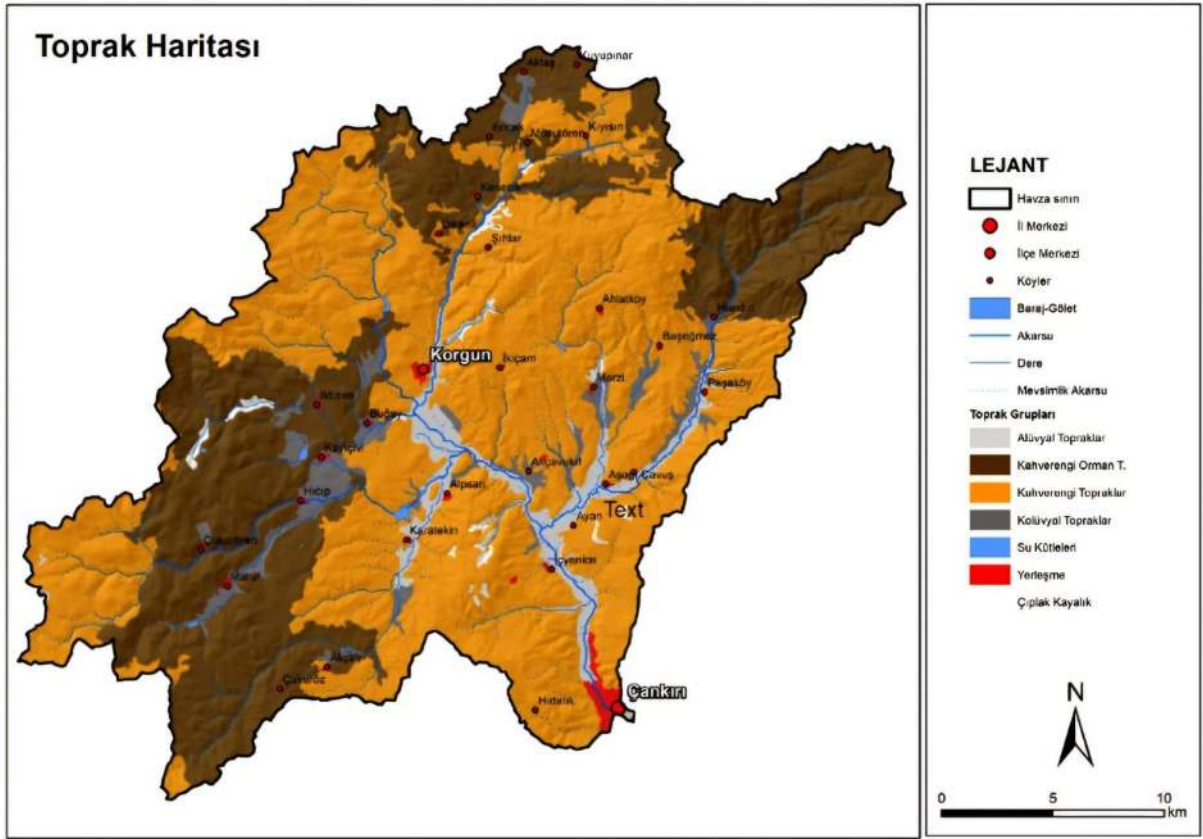
Tatlıçay'ın alt havza bölümü, Çankırı il merkezinin yakınında bulunan karmaşık bir jeolojik bileşime sahiptir ve çeşitli süreçler ve sedimantasyon birikimleri tarafından etkilenir. Başlıca olarak temel ve yamaç alanlardan oluşan bu bölge, IV. zamanda oluşan alüvyonları içerir; bu alüvyonlar, yerel akarsuların erozyon ve taşıma süreçlerini gösteren çakıl, kum, toz ve kil karışımlarından oluşmuştur (Çalaplı 1967). Bölgenin topografisi, Tatlıçay Nehri'nin eğiminin azalmasından kaynaklanan meander oluşumu ile belgindir, bu durum önemli bir birikim alanına neden olur. Ayrıca, farklı jeolojik dönemler boyunca oluşan erozyon ve birikimin şekillendirdiği nehir kenarı düzlükleri, sulama tarımına elverişli alanlar sunar, bu da zamanla biriken sedimentlerin sürecini vurgular. Havzanın güneybatısındaki kanyonların dikkat çekici topografisi, jeolojik yapının (tuz ve alçı) ve bitki örtüsünün kırılganlığı nedeniyle, Tatlıçay Havzası'ndaki bu özel jeolojik manzaranın çeşitliliğini pekiştirir ve jeolojik çağlar boyunca dinamik bir evrimi yansıtır.

Özetle, Tatlıçay bölgesinin jeolojik bağlamı karışıktır; baskın olarak Oligo-Miyosen alçı formasyonları, alüvyon birikimleri, çeşitli topografya ve zaman içinde önemli bir jeolojik evrim belirtileri içerir.



Şekil 3.5 Tatlıçay havzasının jeoloji haritası

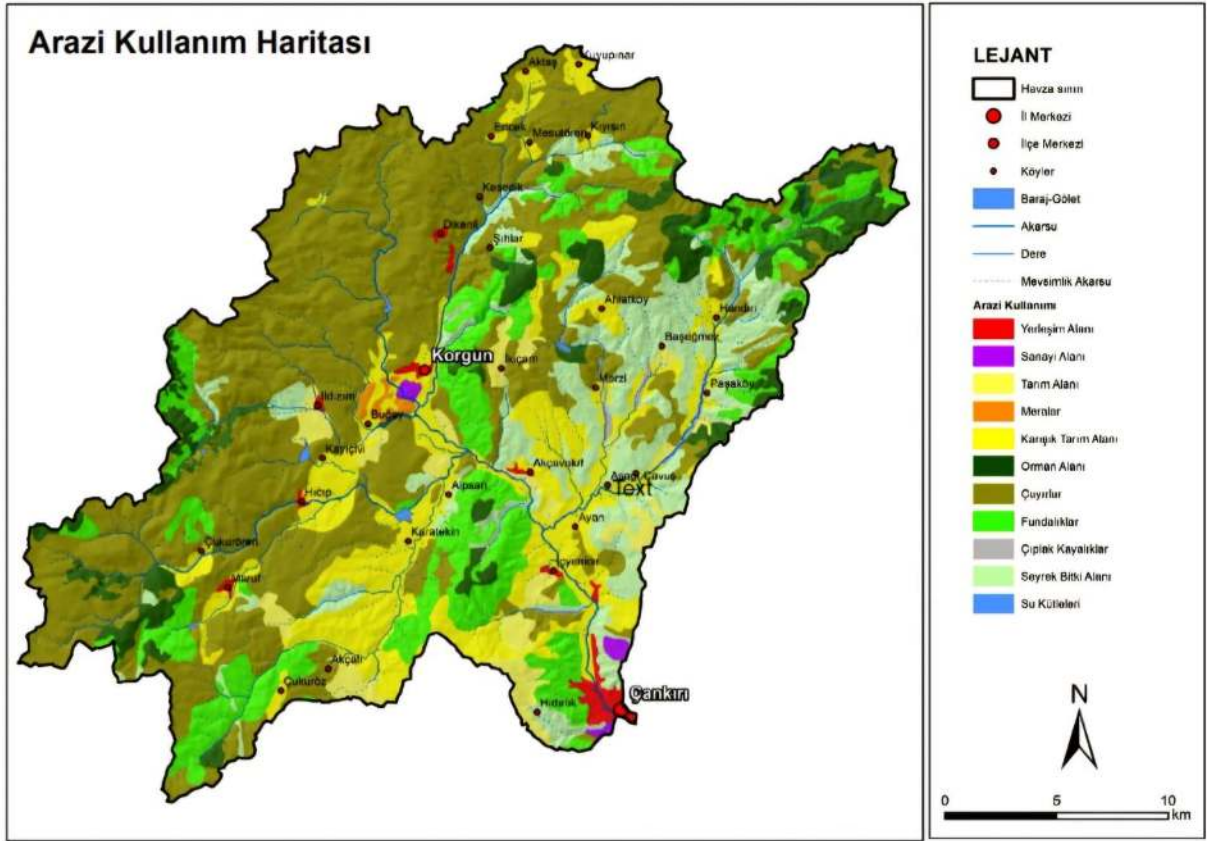
Tatlıçay'ın toprak genel bileşimi, çeşitli toprak tipleri ile belirginleşmektedir. Toprak grupları haritası, bölgede alüviyal, kahverengi, kahverengi-kırmızı, kollivyal, kahverengi orman toprakları, kireçli kahverengi orman toprakları ve kireçli kahverengi toprakların bulunduğunu ortaya koymaktadır. Kahverengi topraklar, çalışma alanında geniş ölçüde baskındır (Göl and Mervük 2022)



Şekil 3.6 Tatlıçay havzasının toprak haritası

Çalışma alanı, Türkiye'nin üç ana floristik bölgesinden biri olan İran-Turan floristik bölgesinde bulunmaktadır tarafından Davis ızgarası sistemine göre A4 ızgarasına dahil edilmiştir. Karadeniz'in kıyı bölgesinden Anadolu'nun iç kısımlarına doğru iklimsel bir geçiş gözlemlenmekte olup, bu da kuzeyden güneye doğru bitki örtüsünde genel bir fakirleşmeye neden olmaktadır. Havzanın kuzey bölümlerinde sarıçam (*Pinussylvestris* L.), karaçam (*Pinusnigra* Arn.) ve Uludağ Gökarnarı (*Abiesnordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf.) ormanları yoğun olup güneye doğru karaçam-meşe (*Quercus* sp.) ormanları yoğunlaşmaktadır. Havzanın üst kısmı genellikle Karadeniz iklimi etkisi altında yüksek rakımlı orman bölgelerine ev sahipliği yaparken, alt kısımdaki bitki örtüsü, kurak iklim nedeniyle çoğunlukla kuraklığa dayanıklı çalılar ve otsu bitkilerden oluşmaktadır (Göl and Sezgin and Dölarslan 2008).

Ayrıca, İran-Turan floristik bölgesinde bulunan araştırma alanı, yerel olarak bulunan ağaç ve çalılarla birlikte hâkim step bitki örtüsüne sahiptir. Aşırı otlatma, bitki örtüsünün bozulmasına neden olmuştur, ancak havzanın yukarı bölgelerine doğru gidildikçe, tuzluluğun azalması meyve ve sebze üretimi için fırsatlar sunmaktadır (Ediş and Ulaş 2017).



Şekil 3.7 Tatlıçay havzasının arazi kullanım haritası

3.2. Yöntem

YETKE/RUSLE modeli, USLE denkleminin (Wischmeier and Smith 1978) bir evrimidir. USLE, çeşitli ölçeklere uyum sağlar. Temelde, küçük bölgelerde uzun vadeli ortalama yıllık toprak kaybı tahminleri sunma avantajına sahiptir ve toplam toprak erozyonu tahminlerine ulaşma konusunda "güvenilir bir model" olarak kabul edilir (Renard 1997).

YETKE/RUSLE modeli, erozyon faktörlerini girdi parametreleri olarak kullanan bir matematiksel denklem formunda ifade edilir ve yüzey akış ve oluk erozyonu sonucu ortaya çıkan toprak kaybını tahmin etmek için kullanılır. Diğer modellerin aksine, bu model aşınma, taşıma ve birikme gibi erozyon süreçlerini, dikkate almaz (Foster et al. 1977) YETKE/RUSLE denklemi, USLE modelinde kullanılan denklemle aynı yapıyı korur ve aşağıdaki ilişki ile ifade edilir.

$$A = R * K * LS * C * P \quad (1)$$

Eşitlik 1' de

A: Yıllık ortalama toprak kaybı $T \text{ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$

R: Yağışın eroziv etkisi, yağmurun kinetik enerjisinin 30 dakikalık ardışık yoğunluğunun yıllık ortalaması $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ saat}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$

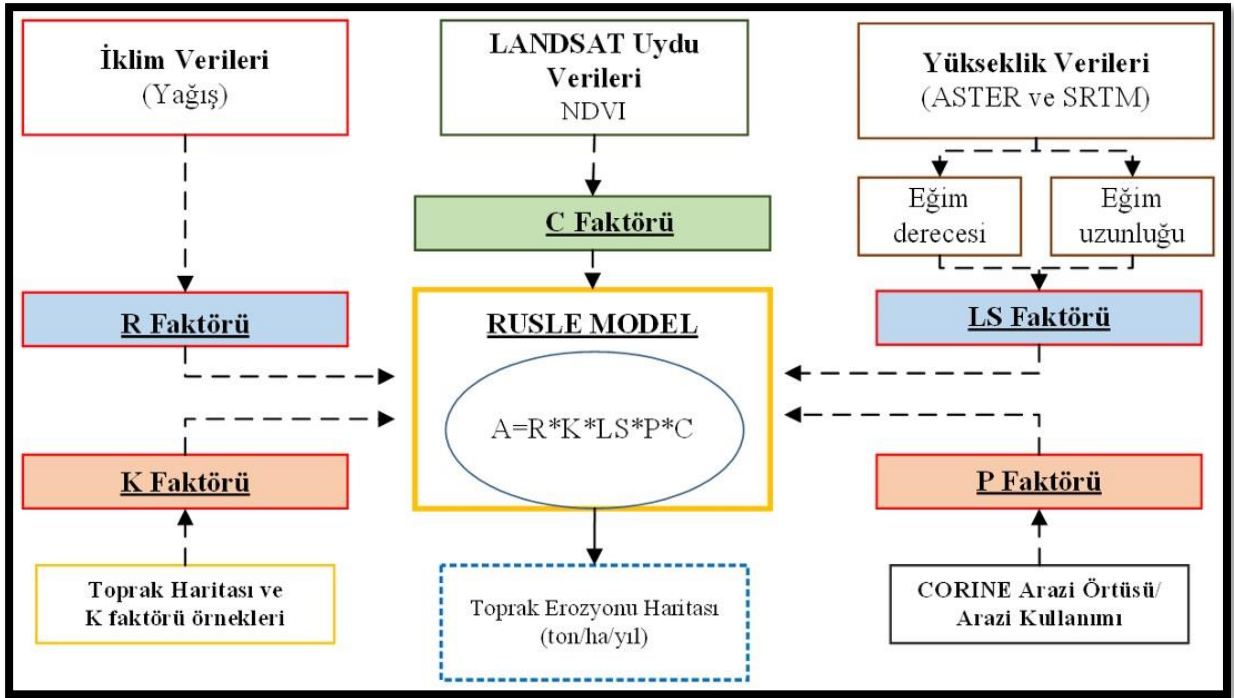
K: Toprakların erozyona yatkınlığını ifade eden faktördür $T \text{ saat ha MJ}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$

LS: Birimsiz bir faktördür ve eğimi (S, yüzde olarak) ve yamaç uzunluğunu (L, metre olarak) temsil eder.

C: Bitki örtüsünün etkisini temsil eden birimsiz bir faktördür.

P: Erozyonu önlemeye yönelik teknikleri içeren, erozyon kontrol faktörü olup, birimsiz bir orandır.

Bu faktörlerin değerlerini bireysel ızgara hücreleri düzeyinde tahmin etmek için CBS tekniklerinin ustaca entegre edilmesiyle, YETKE/RUSLE'nin erozyon kontrol önlemlerinin planlanmasında ve tarımsal havzalardaki toprak erozyonu seviyelerinin değerlendirilmesinde bir araç olarak kullanımı genişletilmiş ve geliştirilmiştir. Bu entegrasyon, daha kapsamlı ve etkili havza yönetim stratejilerine olanak tanımıştır (Renard et al., 1997). YETKE/RUSLE modelinin tanımı Şekil 3.8'te verilmiştir.



Şekil 3.8 YETKE/RUSLE yönteminin akış şeması

❖ Topografik Faktör (LS)

LS faktör sediment üretimini ve taşınmasını etkileyen yamaç uzunluğu ve eğimidir. LS faktörü Eşitlik (2) yardımıyla hesaplanmaktadır. LS Faktörün hesaplanmasında çalışma alanına ait 1/25000 ölçekli topografik haritalar kullanılmıştır. Bu çalışmada, USGS veri tabanından indirilen yüksek alansal çözünürlüklü sayısal yükselti modeli (Aster Global Digitalelevation Model V003) verisi kullanılmış, elde edilen bu veriler, CBS ortamında ve Arc-Map uygulaması üzerinden formüller Eşitlik (2) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$LS = \left(\frac{\chi\eta}{22,13} \right)^{0,4} \left(\frac{\sin \theta}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (2)$$

Eşitlik [2]'de X yüzey akışı yoğunlaşma sayısı, n hesaplamanın yapıldığı hücrelerin boyutu ve θ eğim dikliğidir (°)

❖ Yağışın aşındırma gücü faktörü (R Faktör)

R Faktör, yağışların neden olduğu potansiyel erozyonu gösterir (Chen et al., 2011). Bu faktörü tahmin etmek için toplam yağışların kinetik enerjisi ve toprağa ulaşan yağışın kinetik enerjisi dikkate alınmalıdır (Beskow et al. 2009). Yağışların erozyon etkisini değerlendirmek için, toplam kinetik enerjinin 30 dakikalık maksimum yağış yoğunluğu (EI: Erozyon İndeksi) ile çarpılması YETKE/RUSLE modelinde çok önemlidir. Bu yaklaşım, erozyon nedeniyle oluşan toprak kaybını hassas bir şekilde belirlemeyi sağlar (Cürebal and Ekinci 2006). R faktör Eşitlik 13 yardımıyla hesaplanmıştır

$$R = K \cdot E_c \cdot I_{30} \quad (3)$$

Eşitlik (3)' de (K), ölçü birimi sistemine bağlı bir katsayı, I_{30} , 30 dakikalık en yüksek yağış yoğunluğu ve E yağışın toplam enerjisidir.

Yağmurun aşındırma gücünü ve akarsu erozyonunun büyüklüğünü değerlendirmek için aylık ve yıllık yağış ortalamaları kullanılır (Wischmeier and Smith 1978). Çalışma alanı için R faktörü değeri Erpul ve ark. (2016) tarafından hazırlanan Türkiye Yağış Erozyon İndeksi değerlerinde Çankırı Meteoroloji İstasyonu'na değeri kullanılarak hesaplanmıştır. Mekansal R yüzeyini oluşturmak için, çalışma alanı çevresinde kriging için yeterli meteoroloji istasyonu olmaması ve yüksekliğin gerçek yağış miktarına etkisi nedeniyle (Toy and Foster 1998), çalışma alanının sayısal yükseklik modeli (DEM) kullanılmıştır. Havzadaki yüksekliğe bağlı olarak yağış miktarındaki eşitlik alınarak düzeltmeler yapılmıştır (Toy and Foster 1998, Erdoğan et al. 2007; Özcan and Aytaş 2020).

$$R_y = R_r * \left[\frac{P_y}{P_r} \right]^{1.75} \quad (4)$$

Eşitlik [4]'de $R_y = R$ faktörü bilinmeyen birlik ile düzeltilmiş R değeridir; $R_r = R$ faktörü bilinen referans istasyonunun R değeridir; $P_y = R$ faktörü bilinen birliğin ortalama yıllık yağış miktarıdır (mm); $P_r = R$ faktörü bilinen referans istasyonunun ortalama yıllık yağış

miktardır (mm). Çalışma alanının yükseltisi 700 m ile 1470 m arasında değişmektedir. Referans istasyonu olarak kullanılan Çankırı Meteoroloji İstasyonunun yükseltisi 755 m'dir. R değerleri, DEM'den bilinmeyen birimler için ArcView 10.3 ile hesaplanmıştır. Yükseklik ile yağış arasındaki değişim değeri her 300 metre için 50 mm alınmıştır (Özcan and Aytas 2020).

❖ ToprakErodibiliteFaktörü(K Faktör)

Toprağın erozyona karşı direnci, yani erozyona uğrama eğilimi, toprağın kendi özelliklerine göre erozyona karşı gösterdiği direnç ve erozyona uğrama eğilimi ile belirlenir. Toprağın içindeki fiziksel ve kimyasal özellikler, bu direnci farklı derecelerde etkiler. Bu nedenle, toprağın yapısı (tanecikli yapısı) ve bileşimi bu direnci belirler. Bazı topraklar belirli koşullar altında erozyona karşı dirençlidir. Ancak, ters durumlarda, direnç göstermeyen topraklar kolayca çözülür ve erozyona maruz kalır (Balcı 1996).

Tatlıçay Nehri havzasındaki K faktörünü belirlemek için, organik madde, kum ve kil ile ilgili haritalar SoilGrids veri tabanından (https://soilgrids.org/#!/layer=ORCDRC_M_sl2_250m&vector=1) elde edilmiştir. YETKE/RUSLE modelinin bileşenlerinden biri olan K faktörü, toprağın dokusu, yapısı, organik madde miktarı ve su geçirgenliği ile ilişkilidir. Erozyon durumunda, bu özelliklere bağlı olarak toprağın direncini gösterir (Sönmez 1994). Wischmeier ve Smith 1978, toprağın dokusuna dayalı olarak, her dokuya ilişkin yapı ve geçirgenlik kodlarını içeren toprak doku sınıflarını tanımlamışlardır (Çizelge 3.3.)

Çizelge 3.3 Topraktekstürsınıflarıvekodları

ToprakTekstürü	Strüktür Kodu(b)	Permeabilite Kodu(c)
SiltliKil, Kil	1	6
SiltliKilliBalçık,KumluKil	2	5
KumluKilliBalçık,KilliBalçık	2	4
Balçık,SiltliBalçık	2	3
BalçıklıKum,KumluBalçık	2	2
Kum	3	1

YETKE/RUSLE modeli üzerine yaptıkları çalışmada, Wischmeier and Smith (1978), Toprak aşınabilirliğine dayalı K faktörü değerini hesaplamak için Eşitlik 5'de belirtilen bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntem, Tatlıçay Nehri havzasının K faktörü haritasını oluşturmak için kullanılmıştır.

$$K = 0,0293 (0,65 - DG + DG^2) * EXP \left[-0,0021 \left(\frac{OM}{C} \right) - 0,000037 \left(\frac{OM}{C} \right)^2 - 4,02C + 1,72 C^2 \right] \quad 5$$

$$M = (\%Silt + \%Kum)(100 - \%Kil) \quad 6$$

Bu eşitlikte; K= Toprağın erozyona duyarlılığını, M= Tane büyüklüğü dağılımı parametresini M= (Çok ince kum, %+ silt, %). (100+kil, %) a= Organik madde içeriği (%) b= Strüktür tipi ve sınıfı kodu c= Hidrolik geçirgenlik sınıfı kodu 1.292= Metrik sisteme dönüştürme sabitesini temsil etmektedir.

Bu eşitlikten çıkan sonuçlara göre belirlenen K sınıfları; 0.0-0.05 arasındaki değerlerde toprağın erozyona duyarlılığı çok düşük, 0.05-0.1 olanlar düşük, 0.1-0.2 aralığındaki değerlerde orta, 0.2-0.4 arasında yüksek, 0.4-0.6 aralığında çok yüksek olmak üzere beş sınıfta tanımlanmıştır.

❖ Bitki Örtüsü faktörü (C)

Bitki yönetim faktörünün değerlendirilmesi, bitki örtüsünün arazi kullanımından kaynaklanan yüzey erozyonuna etkisini değerlendirir. Erozyonun önlenmesi, bitki türü ve kapladığı alan tarafından etkilenir (Alparslan 2021). Bitki örtüsünün yoğunluğu arttıkça, yağmur damlalarının erozyon gücü azalır ve yüzey akışı yavaşlar. Ayrıca, intersepsiyona neden olan bitki örtüleri, yüzey akışını maksimum düzeyde azaltır (Hoşgören 2010, Ekinci 2005).

Yaptığımız çalışmada YETKE/RUSLE-C değerlerini bulmak için, havzadaki tarım, orman ve mera alanlarının tespitinde ArcGIS 10 uygulaması ile CORINE arazi örtüsünde (CORINE landcover 2012-2018) ve amenajman planı haritalarında tanımlanan değerler kullanılmıştır (EEA, 2021).

❖ ToprakKorumaFaktörü(P)

P faktörü, toprak erozyonunu önleme amacıyla yapılan toprak koruma faaliyetlerini ifade eder. Toprak erozyonu, özellikle eğim yönünde veya eğime ters yönde yapılan toprak işleme uygulamalarına bağlı olarak daha hızlı veya daha yavaş olabilir. Farklı mekânsal açılardan P faktörünü değerlendiren büyük ölçekli çalışmalar azdır. P faktörüne göre Tatlıçay havzasında toprak koruma önlemleri tespit edilmemiştir. Bu nedenle, standart değer olan $P = 1,0$ kullanılmıştır (Wischmeier and Smith 1978).



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma alanı için altı faktörün çarpılması ile birlikte havza için yıllık ortalama toprak kayıpları elde edilmiştir.

4.1. Eğim uzunluğu ve eğim dikliği (LS Faktörü)

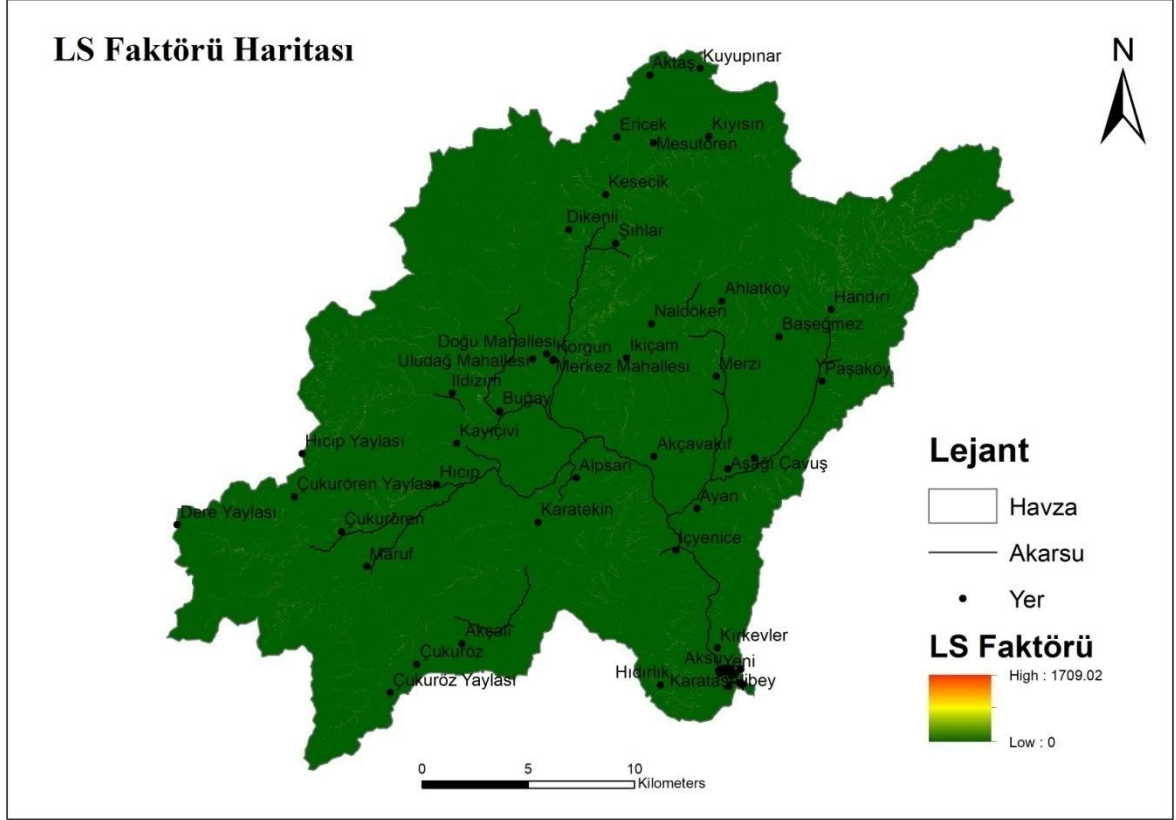
Yamaç eğim-uzunluk-yükselti koşulları erozyonun boyutunu ve şiddetini belirleyen en önemli faktörlerden birisidir (Efe et al. 2008a, 2008b, Özşahin 2014). Bir bölgedeki erozyonun şiddeti, öncelikle LS faktörlerinin artışı veya azalışına bağlı değişmektedir. Toprak taneleri çok düşük eğimli yamaçlarda bile taşınmaya uğrar ve eğim arttıkça taşıma gücü artar (Atalay, 2011). (Desmet and Grovers 1996, Hickey et al. 2000, Kinnell et al. 2005), bu faktörü araştıran bilim insanlarıdır. Farklı denklemler önermelerine rağmen, hepsi eğim ve toplam akışın önemini kabul eder, farklılıklar ise esas olarak formüllerinde kullanılan sabitler ve algoritmalarda ortaya çıkar.

Yüksek LS faktör değerleri, genellikle artan bir erozyon potansiyeli ile ilişkilidir, çünkü daha uzun ve daha dik eğimler toprağın hareketini kolaylaştırır. Bu nedenle, yüksek LS değerlerine sahip bölgeler genellikle erozyona karşı daha hassastır.

Çizelge 4.1 Çalışma alanındaki LS değerlerinin alansal ve oransal dağılımı

LS Faktor	Alan (Ha)	Yüzde (%)
0-2	24732.38	36.49
2-5	14941.35	22.04
5-10	14343.66	21.16
10-20	9972.21	14.71
20-50	3243.96	4.78
50-100	383.28	0.56
100-500	146.05	0.21
500'den büyük	4.56	0.006
Toplam	67767.45	100.00

Şekil 4.1'de gösterildiği gibi, en yüksek LS değerleri engebeli ve dağlık arazilerde, ayrıca bazı düz veya neredeyse düz arazi kısımlarında bulunurken, en düşük LS değerleri çok hafif, düzden hafif dalgalı arazi türlerinde yer almaktadır.



Şekil 4.1 Çalışma alanının LS Faktörü haritası

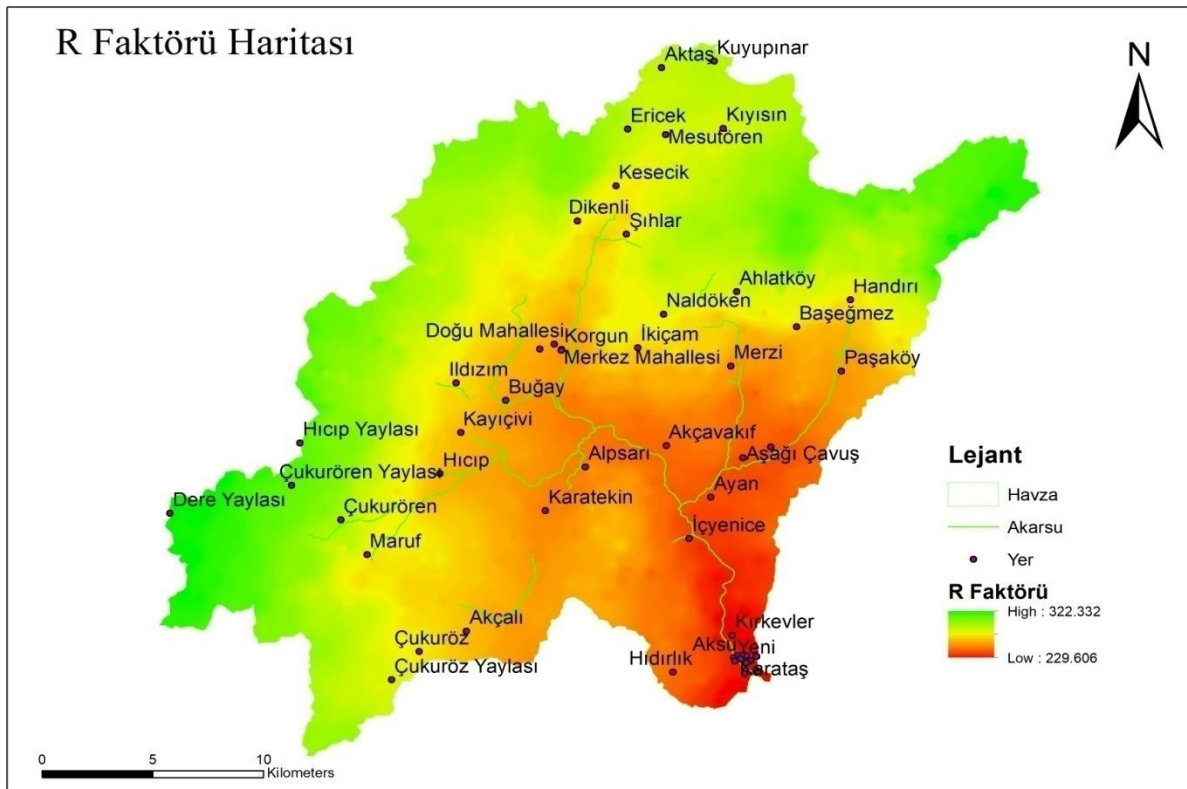
4.2. Yağış Erosivite (R) Faktörünün Belirlenmesi

Tatlıçay havzasındaki yağış 423 ila 588 mm ve R faktörü 230 ile 322 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ yıl⁻¹ arasında dağılımı göstermekte olup ortalaması xxxxx MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ yıl⁻¹dir. En yüksek R faktörü seviyeleri (299 ile 322 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ yıl⁻¹), 546 ile 588 mm yağışa karşılık gelmekte olup, toplam yüzeyin %17,93'ünü oluşturarak daha yüksek bir erozyon riski göstermektedir. Yüksek R faktörüne sahip alanlarda, toprak kayıplarını azaltmak ve toprak kaynaklarını korumak için, yeniden ağaçlandırma ve teraslama gibi öncelikli erozyon yönetimi önlemlerinin uygulanması gerekmektedir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 Tatlıçay havzasındaki R faktörüne ait alan ve yüzde dağılımları.

Yağış (mm)	R Faktörü ($\text{MJha}^{-1} \text{ yıl}^{-1} \text{ xmmh}^{-1}$)	Alan (Ha)	Yüzde (%)
423 – 459	230 – 250	9,126.2	13.44
460 – 486	251 – 265	15,444.9	22.74
487 – 515	266 – 281	13,643.8	20.09
516 – 545	282 – 298	17,527.5	25.81
546 – 588	299 – 322	12,174.8	17.93
Toplam		67,917.2	100.00

Tatlıçay Nehri havzasındaki yağmur erozyon gücünün dağılımı, bölgeden toplanan yağış verilerine dayanarak R faktörü haritasında gösterilmiştir. Yüksekliğin dağılımı, R faktörünün hesaplanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Haritada, havzanın en yüksek noktalarına yaklaştıkça yağmur erozyon gücü faktörü değerlerinin arttığı görülebilir. Bu durum, yağış miktarı ile yükseklik arasında doğrusal bir ilişki olduğunu, daha yüksek rakımlardaki bölgelerin genellikle daha fazla yağış aldığını ve bunun da erozyon gücünde bir artışa neden olduğunu göstermektedir (Şekil4.2)



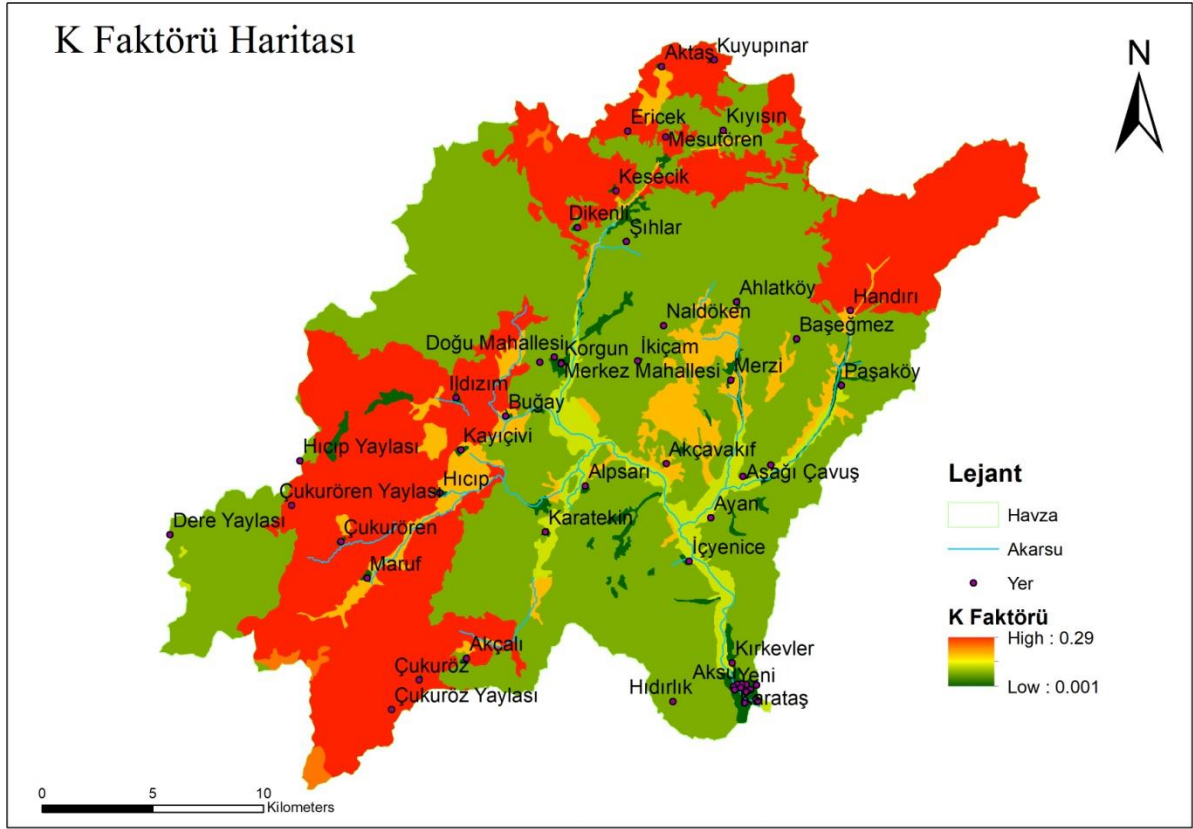
Şekil 4.2 Çalışma alanının R Faktörü haritası

4.3. Toprak Erodibilite (K) Faktörünün Belirlenmesi

Tatlıçay havzasındaki farklı toprak türlerinin ayrıntılı dökümünü gösteren tablo, K faktörü ile ilgili değerler, nispi yüzey alanları ve temsil ettikleri yüzdelere ile birlikte sunulmaktadır. Havzanın büyük bir kısmı kahverengi topraklarla kaplı olup, %54.54'ünü (37,045.3 ha) oluşturmaktadır. Kahverengi orman toprakları ise %27.25'ini (18,508.7 ha) oluşturur. K faktörü 0.29 olan kireçsiz kahverengi orman toprakları ve K faktörü 0.22 olan kırmızımsı kahverengi orman toprakları, yüksek erozyon riskine işaret etmekte olup, ağaçlandırma ve teraslama gibi koruma önlemlerini gerektirmektedir. Daha düşük K faktörü değerlerine sahip olan alüvyon ve kolüvyon toprakları, sırasıyla yüzeyin %4.02'sini ve %4.25'ini oluşturmaktadır olup, önemli derecede erozyon göstermektedir. K değerleri 0.01 ve 0.001 olan su planları ve çekirdekler ise çok düşük erozyon riski göstermekte olup, ilave bakım gerektirmemektedir. (Çizelge 4.3). Sonuç olarak, bu ayırım, havza içindeki erozyona uğramış alanları yönetmek için en önemli bölgeleri belirlemeye yardımcı olur ve toprak kaybını azaltmak ve toprak kaynaklarını korumak için müdahalelerin en çok gerekli olduğu yerlere odaklanılmasını sağlar.

Çizelge 4.3 Havzaya ait büyük toprak grupları ve K Faktör değerlerinin alansal dağılımı

Toprak Grupları	K Faktörü	Alan (Ha)	%
Çıplak Kayalık	0,01	570,4	0,84
Alüvyal Topraklar	0,001	2.727,8	4,02
Kahverengi Orman Toprakları	0,2	18.508,7	27,25
Kahverengi Topraklar	0,13	37.045,3	54,54
Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları	0,29	3.911,3	5,76
Kireçsiz Kahverengi Topraklar	0,2	372,0	0,55
Kırmızımsı Kahverengi Topraklar	0,22	1.238,1	1,82
Kolüvyal Topraklar	0,18	2.886,7	4,25
Su Kütleleri	0,001	45,3	0,07
Yerleşme	0,001	612,6	0,90
Toplam		67.918,2	100,00



Şekil 4.3 Çalışma alanının K Faktörü haritası

K faktörü, Tatlıçay havzasının topraklarının bileşim ve erozyona karşı hassasiyetinin yanı sıra eğim özelliklerini de büyük bir çeşitlilikle temsil eder. K faktörü 0,29 olan kahverengi kireçsiz orman toprakları, havzanın %5,76'sını kaplamakta ve çoğunlukla kuzeydeki Korgun ilçesinin orman bölgelerinde bulunmaktadır. Bu topraklar, kırılgan dokuları ve kireç eksikliği nedeniyle erozyona karşı özellikle hassastır, bu da toprak partiküllerinin uyumunu zayıflatır. K faktörü 0,13 olan kahverengi topraklar, havzanın %54,54'ünü oluşturarak çoğunluğu teşkil eder ve genellikle Pasaköy çevresindeki tarım alanlarında bulunur. Bu topraklar, tarımsal uygulamalardan etkilenen orta düzeyde bir erozyon eğilimine sahiptir (Şekil4.3) .

Alüvyal topraklar (K faktörü 0,001) çok düşük erozyon eğilimine sahip olsalar da özellikle nehir kıyısı birikim bölgelerinde kumlu fraksiyonlar içerebilirler. Havzanın %4,25'ini kaplayan ve K faktörü 0,18 olan kolüvyal topraklar da düşük derecede erozyona meyillidir ve genellikle materyalin yerçekimi ile yer değiştirdiği yamaçlarda bulunurlar. Küçük bir yüzey alanını kaplamalarına rağmen, yerleşim bölgeleri ve kayalık alanlar, sırasıyla 0,01, 0,01 ve 0,01 gibi çok düşük K değerlerine sahip olup düşük erozyon eğilimi gösterirler.

Bu toprakların erozyonunda eğim büyük bir rol oynamaktadır; özellikle kahverengi, kireçsiz orman toprakları ve kahverengi, kırmızımsı orman topraklarında, dik eğimli bölgeler erozyon potansiyelini artırmaktadır. Bu oluşumların çözünürlüğü nedeniyle, çıplak kaya alanlarında karstik yüzeyler bulunabilir ve bu da erozyon riskini artırır. Genel olarak, Tatlıçay Havzası'nda erozyon yönetimi, özellikle dik yamaçlarda bulunan yüksek erozyon potansiyeline sahip toprakları önceliklendirerek, ağaçlandırma ve teras inşası gibi koruma önlemleri uygulamalıdır.

4.4. Bitki Örtüsü faktörü (C)

Eğim özellikleri ve C faktörleri, Tatlıçay Havzası'ndaki toprakların analizinde erozyon riskini değerlendirmek için dikkate alınmalıdır. Bitki geçiş bölgeleri, 9.328,3 hektarlık (%13,73) bir alanı kaplar ve düşük bir C faktörüne (0,01) sahiptir (Çizelge 4.4), bu da bu alanlarda düşük bir erozyon riski olduğunu gösterir. Doğal bitki örtüsü ile ilişkili tarım alanları, 7.793,3 hektarlık (%11,47) bir alanı kapsar ve yüksek bir C faktörüne (0,28) sahiptir, bu da bu alanların erozyona daha duyarlı olduğunu gösterir. Havzanın çoğunu kapsayan doğal çayırliklar, orta derecede yüksek bir C faktörüne (0,09) sahiptir, bu da orta derecede bir erozyon riski olduğunu gösterir. Endüstriyel ve ticari bölgeler ile karayolları, demiryolları ve ilgili alanlar, düşük yüzey alanlarına rağmen düşük erozyon riski gösteren 0,1'lik bir C faktörüne sahiptir. Geniş yapraklı ormanlar (0,01), iğne yapraklı ormanlar (0,01) ve karışık ormanlar (0,01) düşük C faktörlerine sahiptir ve dolayısıyla düşük erozyon riskine sahiptir. Seyrek bitki örtüsüne sahip alanlar, 8.403,8 hektarı (%12,37) kaplayarak, 0,4'lük yüksek bir C faktörüne sahiptir ve yüksek erozyon riski taşımaktadır (Çizelge 4.4)

Su kütleleri (0), sulanmayan ekilebilir alanlar (0,28), sürekli sulanan alanlar (0,18), sürekli şehir yapıları (0,1) ve yeşil şehir alanları (0,1), değişken C'lerine göre değişen erozyon riski derecelerini sergiler. Bu veriler, Tatlıçay Havzası'ndaki toprak erozyon riskini belirlemek ve gerekli koruma önlemlerini planlamak için hayati öneme sahiptir.

Çizelge 4.4 Havzaya ait arazi kullanımları ve C Faktör değerlerinin alansal dağılımı

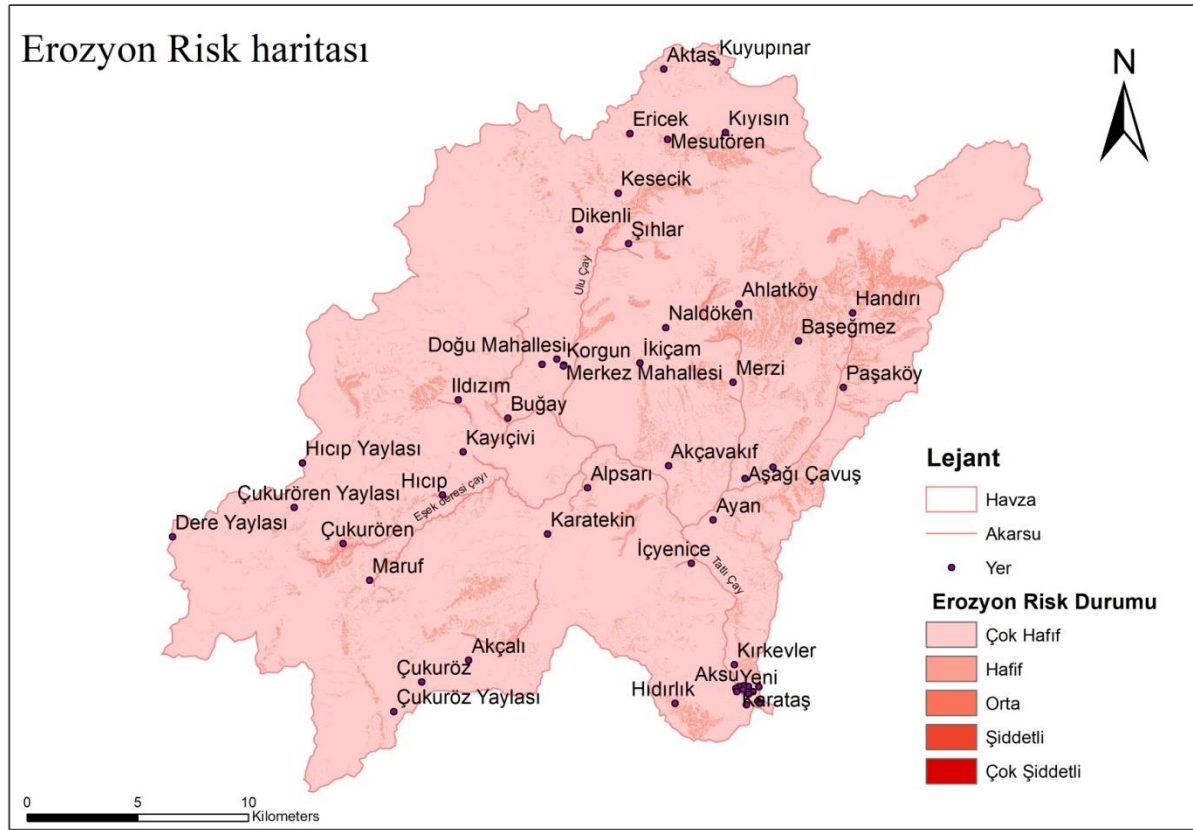
Corine Arazi Kullanımı	C Faktörü	Alan (Ha)	%
Bitki Değişim Alanları	0,1	9.328,3	13,73
Doğal Bitki Örtüsü ile Birlikte Bulunan Tarım	0,28	7.793,3	11,47
Doğal Çayırliklar	0,09	30.440,7	44,82
Endüstriyel ve Ticari Birimler	0,1	218,4	0,32
Geniş Yapraklı Orman	0,01	172,9	0,25
İğne Yapraklı Orman	0,01	4.042,9	5,95
Karayolları, Demiryolları ve İlgili Alanlar	0,1	30,0	0,04
Karışık Orman	0,01	538,4	0,79
Karışık Tarım Alanları	0,28	2.999,4	4,42
Kesikli Şehir Yapısı	0,1	532,6	0,78
Meralar	0,09	225,7	0,33
Sahiller, Kumsallar, Kumluklar	0,8	241,7	0,36
Seyrek Bitki Alanları	0,4	8.403,8	12,37
Su Kütleleri	0	85,8	0,13
Sulanmayan Ekilebilir Alanlar	0,28	2.425,4	3,57
Sürekli Sulanan Alanlar	0,18	338,0	0,50
Sürekli Şehir Yapısı	0,1	95,3	0,14
Yeşil Şehir Alanları	0,1	5,5	0,01
Toplam		67.918,2	100,00

Şekil 4.4’de Tatlıçay Havzasının C faktörü dağılımı haritası verilmiştir. 0 ile 0,8 arasında bir aralığa sahip olan bu faktörü göstermek için yeşilden kırmızıya bir renk spektrumu kullanılmıştır. Düşük C faktörü bölgeleri veya yeşil bölgeler, genellikle düz veya hafif eğimli arazilerde bulunur ve kolayca erozyona uğramazlar. Öte yandan, dik yamaçlar genellikle yüksek C faktörü ile görülen kırmızı alanlarla gösterildiği gibi önemli bir erozyonla ilişkilidir. Örneğin, Korgun ve Çankırı gibi yerler hem düz hem de düzensiz bir araziye yansıtan bu renk tonlarının bir yelpazesini göstermektedir. Bazı topluluklar, örneğin Dikenli, Şıhlar, Alpaslan ve Ahlatköy, önemli topografik farklılıkları ve erozyon riskini gösteren farklı renkli bölgelerde bulunmaktadır. Aşırı erozyonu önlemek ve yerel altyapıyı korumak için kırmızı bölgelerde ağaçlandırma ve teras inşası gibi toprak koruma önlemlerinin uygulanması gereklidir. Buna karşılık, yeşil alanlar daha az önlem gerektirir, ancak toprağın kalitesini korumak için sürdürülebilir tarım uygulamaları yine de tavsiye edilir

4.6. Potansiyel Toprak Kaybı (A)

Son aşamada, A faktörü ile temsil edilen erozyon duyarlılık haritaları, ArcGIS10.3'teki "RasterCalculator" aracı kullanılarak hesaplanmıştır. Bu işlem, çalışma alanı için yıllık toprak kaybı oranını temsil eden birleşik bir harita oluşturmak amacıyla tüm bireysel duyarlılık haritalarının çarpılmasını içermektedir (Şekil 4.5). Çalışmada kullanılan bütün faktör haritalarının piksel değeri 10 metre olarak alınmıştır.

Tatlıçay havzasında yürütülen çalışmada, potansiyel toprak kaybı 30280,69 ton ha⁻¹ yıl⁻¹, ortalama potansiyel toprak kaybı ise 39,60 ton ha⁻¹ yıl⁻¹ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.5 Tatlıçay Havzası Erozyon risk haritası

Bu araştırmada, Tatlıçay havzasına ait erozyon risk haritasından hesaplanan erozyon risk sınıflarının alansal ve oransal dağılımları Çizelge 4.5'te sunulmuştur. Tatlıçay havzası, potansiyel erozyon riski açısından 5 sınıfa ayrılmıştır. Havzanın %92'sinde çok hafif,

%7'sinde hafif, %0,18'inde orta, %0,02'sinde şiddetli ve %0,003'ünde çok şiddetli erozyon gözlemlenmektedir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Erozyon riskinin alansal ve oransal dağılımları

Toprak kaybı	Alan (Ha)	Yüzde (%)
0-5	25023.65	36.93
2-12	10110.17	14.92
12-20	6910.31	10.20
20-50	12652.69	18.67
50-100	6908.17	10.19
100-500	5676.21	8.37
500-1000	337.16	0.49
1000'den büyük	127.29	0.18
Toplam	67767.45	100.00

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı, (YETKE/RUSLE) modeli kullanılarak Tatlıçay Havzasında toprakların erozyona duyarlılığını belirlemek ve bölgedeki toprakların korunması için yönetim önerileri geliştirmektir. Gerçekleştirilen araştırma ve analizlerin sonuçları, aşağıdaki sonuçların çıkarılmasına olanak sağlamaktadır

Yağışların erozyon etkisini temsil eden R faktörü, Tatlıçay havzası bölgesinde yağışların nispeten ılımlı olduğunu, yıllık ortalama 391 mm olduğunu göstermiştir. Hesaplamalar, R faktörünün $35 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ olduğunu göstermiştir, bu da ılımlı yağışların bile, özellikle yoğun yağış dönemlerinde toprak erozyonuna önemli ölçüde katkıda bulunabileceğini göstermektedir.

Erozyona uğrayan havzanın topografyası, erozyonun yoğunluğunda önemli bir faktördür. Dik yamaçlı bölgeler, Çalışma alanının LS faktör haritası incelendiğinde, ortalama değerin 6,60, en düşük değerin 0 ve en yüksek değerin 1709,02 olduğu görülmektedir, Çalışma alanındaki LS değerlerinin dağılımı altı sınıfa ayrılarak hesaplanmıştır. 0 ile 6,70 arasındaki değer, havzanın yaklaşık %67,43'ünü oluşturarak en geniş alanı kaplarken, en yüksek LS değeri olan 536,16 ile 1709,02 arasındaki değer ise yalnızca havzanın %0,01'ini kaplamaktadır

Analizler, alüvyal ve kahverengi havza topraklarının önemli jeolojik çeşitlilik gösterdiğini ve bu durumun erozyona duyarlılıklarını etkilediğini ortaya koymuştur. Bu, yetersiz tarım uygulamaları veya yetersiz bitki örtüsü gibi bazı özel koşullar altında bu toprakların erozyona maruz kalabileceğini göstermektedir. K faktörü, ortalama olarak $0,034 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ olarak değerlendirilmiştir.

Erozyon koruması için bitki örtüsü gereklidir. Sonuçlar, iyi bakımlı çayırlar ve ormanlar da dahil olmak üzere yoğun bitki örtüsüne sahip alanların düşük C faktörüne (0.01) sahip olduğunu ve dolayısıyla daha düşük erozyon riski taşıdığını göstermektedir. Öte yandan, zarar görmüş veya kötü yönetilen alanlar, 1'e ulaşabilen yüksek bir C faktörüne sahip olup, erozyona karşı daha hassastır.

Son olarak, R, K, LS, C ve P bileşenleri birleştirilerek hektar başına ortalama yıllık toprak kaybı, yani A faktörü belirlenmiştir. Sonuçlara göre, Tatlıçay havzası yılda hektar başına ortalama **39.59ton/ha yıl** toprak kaybı yaşamaktadır. Bu rakam, bazı bölgelerin orta ila yüksek oranlarda erozyon yaşadığını göstermekte olup, toprak kaybını ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek için hızlı önlemler alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, çalışmanın bulguları, Tatlıçay Havzası'nda toprak erozyonuna neden olan çeşitli faktörleri anlamanın ve kontrol etmenin ne kadar kritik olduğunu vurgulamaktadır. Toprakları korumak, tarımsal verimliliği sağlamak ve bölgenin çevresel sağlığını korumak için entegre ve sürdürülebilir yönetim stratejileri hayati öneme sahiptir.



KAYNAKLAR

- Abrahams A. D., & Parsons, A. J. (1991). Relation between sediment yield and gradient on debris-covered hillslopes, Walnut Gulch, Arizona. *Geological Society of America Bulletin*, 103(8), 1109-1113.
- Akalan, İ., 1983. Toprak ve Su Muhafazası. A.Ü. Zir. Fak. Yay. No: 873, Ders Kitap No: 238, Ankara. 42 s.
- Alavinia, M., Saleh, F. N., & Asadi, H. (2019). Effects of rainfall patterns on runoff and rainfall-induced erosion. *International Journal of Sediment Research*, 34(3), 270-278.
- Alparslan, K. 2021. Kaman deresi havzasının (Pütürge/Malatya) erozyon duyarlılık değerlendirmesi. T.C. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi.
- Andualem, T. G., Hewa, G. A., Myers, B. R., Peters, S., & Boland, J. (2023). Erosion and sediment transport modeling: a systematic review. *Land*, 12(7), 1396.
- Anonymous, (2010a), Korgun Meteorology Station, Climate Values (1972– 2006), Ministry of Forestry and Water Affairs, Turkish State Meteorological Service, Turkey.
- Anonymous, (2010b), Çankırı Meteorology Station, Climate Values (1980-2010), Ministry of Forestry and Water Affairs, Turkish State Meteorological Service, Turkey.
- Aydın, A., & Tecimen, H. B. (2010). Temporal soil erosion risk evaluation: a CORINE methodology application at Elmalı dam watershed, Istanbul. *Environmental Earth Sciences*, 61(7), 1457-1465.
- Bayramin, İ., Basaran, M., Erpul, G., & Canga, M. R. (2008). Assessing the effects of land use changes on soil sensitivity to erosion in a highland ecosystem of semi-arid Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 140, 249-265.
- Bayramin, I., Basaran, M., Erpul, G., Dolarslan, M., & Canga, M. R. (2009). Comparison of soil organic carbon content, hydraulic conductivity, and particle size fractions between a grassland and a nearby black pine plantation of 40 years in two surface depths. *Environmental geology*, 56, 1563-1575.
- Beasley, D. B., Huggins, L. F., & Monke, A. (1980). ANSWERS: A model for watershed planning. *Transactions of the ASAE*, 23(4), 938-0944.
- Ben Slimane, A. (2013). Rôle de l'érosion ravinaire dans l'envasement des retenues collinaires dans la Dorsale tunisienne et le Cap Bon. Doctoral thesis, Montpellier SupAgro & Tunisian National Institute of Agronomy.
- Benaicha, A. C. (2011). Etude des processus des transports solide et leur impact sur l'alluvionnement des barrages (Doctoral dissertation, Batna).
- Bernard Lagasse. (2005). *"Contrôle de l'écoulement de l'eau et de l'érosion"*. Publié par Gembloux Agricultural Press (Belgique) : ISBN 978-2-874-78022-8.
- Bergkamp, G., Cammeraat, L. H., & Martinez-Fernandez, J. (1996). Water movement and vegetation patterns on shrubland and an abandoned field in two desertification-threatened areas in Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21(12), 1073-1090.
- Bergsma, E., Charman, P., Gibbons, F., Hurni, H., Moldenhauer, W. C., & Panichapong, S. (1996). Terminology for soil erosion and conservation. ISSS: ITC: ISRIC.
- Beskow, S., Mello, C. R., Norton, L. D., Curi, N., Viola, M. R., & Avanzi, J. C. (2009). Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. *Catena*, 79(1), 49-59.
- Boiffin, J. (1976). Histoire hydrique et stabilité structurale de la terre. In *Annales agronomiques* (Vol. 27).

- Borrelli, P., Alewell, C., Alvarez, P., Anache, J. A. A., Baartman, J., Ballabio, C., ... & Panagos, P. (2021). Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis. *Science of the total environment*, 780, 146494.
- Borst, H. L., & Woodburn, R. (1940). Rain simulator studies of the effect of slope on erosion and run-off, 1938.
- Casenave, A., & Valentin, C. (1989). Les états de surface de la zone sahélienne: influence sur l'infiltration (p. 229). Paris, France: Orstom.
- Chabaan, C. (2016). Modélisation de l'érosion hydrique avec le modèle SEAGIS : Exemple du bassin versant du barrage de Siliana. Mémoire de Master en Sciences de la Terre, spécialité Géologie appliquée à l'environnement.
- Chaplot, V., & Le Bissonnais, Y. (2000). Field measurements of interrill erosion under different slopes and plot sizes. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 25(2), 145-153.
- Chen, T., Niu, R. Q., Li, P. X., Zhang, L. P., & Du, B. (2011). Regional soil erosion risk mapping using RUSLE, GIS, and remote sensing: a case study in Miyun Watershed, North China. *Environ Earth Sci* 63 (3): 533–541.
- Cürebal, İ., & Ekinci, D. (2006). Kızılkeçili deresi havzasında CBS tabanlı RUSLE (3d) yöntemiyle erozyon analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (47), 115-129.
- Çivi, A., Akgündüz, E., Kalaycı, K., İnan, Ç., Sarıca, E., & Toru, E. (2009). CORINE (Coordination of Information on the Environment) projesi. TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 200, 02-06.
- De Ploey, J., & Savat, J. (1968). Contribution à l'étude de l'érosion par le splash. *Zeitschrift für Geomorphologie**, 12, 174-193.
- De Roo, A. P. J. (1996a). The LISEM (Limburg Soil Erosion Model): Theory and Application for Erosion Assessment in Agricultural Catchments. European Soil Erosion Model Documentation, University of Utrecht, The Netherlands.
- De Roo, A. P. J. (1996b). Limburg Soil Erosion Model: Model Development and Validation. *Earth Surface Processes and Landforms*,
- Desmet;Grovers. (1996). A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*.
- Doğan, U. (2002). Manavgat Nehri havzasının jeomorfolojik evrimi. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(2).
- Doğan, O., & Denli, Ö. (1999). Türkiye" nin Yağış–Kuraklık–Erozyon Ėndisleri ve Kurak Dönemleri. TC Bağbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Genel Yayın, (215).
- Douglas-Mankin, K. R., Srinivasan, R., & Arnold, J. G. (2010). Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model: Current developments and applications. *Transactions of the ASABE*, 53(5), 1423-1431.
- DHI (2002) Soil erosion assessment using GIS version 1.0 documentation and user guide SEAGIS
- Dölarslan, M. B., & Göl, C. (2008). An investigation on the relationship between saline soil and halophytic plants in semi arid region (Acıçay stream).
- Ediş, S., & Ulaş, E. (2017). Using Bayesian Network to predict the watershed land use type of Çankırı Acıçay-Tatlıçay. *Turkish Journal of Forestry*, 18(3), 212-218.
- Efe R, Ekinci D, Cürebal İ (2008a). Erosion analysis of şahin creek watershed (NW of Turkey) using GIS based on RUSLE (3D) method. *J Appl Sci* 8: 49–58.
- Efe R, Ekinci D, Cürebal İ (2008b). Erosion analysis of Fındıklı creek catchment (NW of Turkey) using GIS based on RUSLE (3D) method. *Fresen Environ Bull* 17: 568–576.
- Ellison W.D. Studies of rain droperosion Agricultural Engineering, 25 (131–136) (1944), pp. 181-182

- Erpul, G. (2016). Türkiye yağışlarının özellikleri ve yenilenmiş evrensel toprak kayıpları eşitliği (YETKE) R faktörü. TC Orman Su İşleri Bakanlığı Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü.
- Erpul, G., Şahin, S., İnce, K., Küçümen, A., Akdağ, M. A., Demirtaş, İ., & Çetin, E. (2018). Türkiye su erozyonu atlası. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- FAO. 1977. Érosion et aménagement dess bassins versants dans les pays méditerranéens , F.A.O, Terre Eaux et Hommes, No.30, Vol.9 , p.27-45.
- Foster, G.R. and Meyer, L.D. (1972) A Closed-Form Soil Erosion Equation for Upland Areas In: Shen, H.W., Ed., Proceeding of Sedimentation Symposium to Honor Prof. H. A. Einstein, Vol. 12, Colorado State University, Fort Collins, 1-19.
- Foster, G. R., Meyer, L. D., & Onstad, C. A. (1977). An erosion equation derived from basic erosion principles. Transactions of the ASAE, 20(4), 678-0682.
- Foster, G.R., Boardman, J., Foster, I.D., & Dearing, J.A. (1990). Process-based modelling of soil erosion by water on agricultural land.
- Gerrand, A. (2010). Étude pilote en Europe pour la recherche mondiale sur la télédétection des forêts.
- Girard, M.-C., Walter, C., Rémy, J.-C., Berthelin, J. and Morel, J.-L. 2005. Sols et environnemen. Paris, DUNOD, 816 p.
- Gobat, J. M., Aragno, M., & Matthey, W. (2010). Le sol vivant: bases de pédologie, biologie des sols (Vol. 14). EPFL Press.
- Govers, G. (1987). Initiation of motion in overlandflow. Sedimentology, 34(6), 1157-1164
- Govers, G., Everaert, W., Poesan, J., 1990. A longflumestudy of thedynamicfactorsaffectingtheresistance of loamysoiltoconcentratedflowerosion. Earth surfaceprocessandlandforms, 15 (4), 313-323.
- Göl, C., Sezgin, M., Dölarslan, B. M. (2008). Changes of soil properties and flora in natural forest and afforestation areas (Çankırı- Eldivan region).International Meeting on Soil Fertility Land Management and Agroclimatology, Special Issue, 53-64.
- Gol, C., Cakir, M., & Baran, A. (2010). Comparison of soil properties between pure and mixed Uludag Fir (*Abies nordmanniana* ssp. *bornmülleriana* Mattf.) stands in Ilgaz Mountain national park. Ekoloji, 19(75), 33-40.
- Göl, C., Ediş, S., & Yilmaz, H. (2017). Legal and administrative problems in watershed management in Turkey: case of Tatlıçay watershed. Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ), 16(12).
- Göl, C., Mevrük, S., 2022. Assessing amount of soil organic carbon and some soil properties under different land uses in a semi-arid region of northern Türkiye. Turkish Journal of Forestry, 23(4): 268-277. DOI: 10.18182/tjf.1117835
- Govers, G. (1987). Spatial and temporal variability in rill developement processes at the Huldenberg experimental site.
- Gurnell, A. M., Piégay, H., Swanson, F. J., & Gregory, S. V. (2002). Large wood and fluvial processes. Freshwater biology, 47(4), 601-619.
- Hadir, S. (2010). Modélisation de l'écoulement de surface et de l'érosion dans le bassin versant de l'Oued Saboun avec le modèle STREAM. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, B.P. 6202, Instituts, 10101 Rabat, 7 p.
- Hadjaj, Zakariya. (2019). Modélisation des flux hydro-sédimentaires et cartographie des zones à risque d'érosion hydrique par SIG : Application au sous-bassin du barrage Oued Cherf dans le nord-est de l'Algérie.
- Hickey, R. (2000). Slope angle and slope length solutions for GIS. Cartography, 29(1), 1-8.
- Hudson, N. (1971). *Soil Conservation*. Batsford Ltd., London, 320 pages.

- Hurni (1985) Soil Conservation Manual for Ethiopia. Ministry of Agriculture, Addis Ababa.
- Irvine, B., and C. Kosmas.(2003) "Pan European soil erosion risk assessment. Deliverable 15: PESERA user's manual, European Soil Bureau.
- İnce, Kenan, Suat Şahin, and Günay Erpul. "Yenilenmiş rüzgar erozyonu eşitliği iklim faktörünün ulusal ölçekte belirlenmesi." *Toprak Su Dergisi* 7.2 (2018): 12-20.
- James, S.C.; Jones, C.A.; Grace, M.D.; Roberts, J.D. Advances in sediment transport modelling. *J. Hydraul. Res.*2010, 48, 754–763.
- Jetten, V., Govers, G., & Hessel, R. (2003). Erosion models: quality of spatial predictions. *Hydrological processes*, 17(5), 887-900.
- Kanar, E., & Dengiz, O. (2015). Madendere havzası topraklarında arazi kullanım/arazi örtüsü ile bazı erozyon duyarlılık indeksleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 2(1), 15-27.
- Ketin İ. 1962. Türkiye Jeoloji Haritası (1:500 000 Ölçek), Sinop. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye. Çevrimiçi: <http://www.mta.gov.tr/eng/>.
- Kinnell, P. I. A. (2005). Raindrop-impact-induced erosion processes and prediction: a review. *Hydrological Processes: An International Journal*, 19(14), 2815-2844.
- Le Bissonnais, Y. (1988). *Analyses des mécanismes de désagréation et de la mobilisation des particules de terres sous l'action des pluies*. Thèse de Doctoral, Université d'Orléans.
- Leguëdois, S. (2003). *Les mécanismes de l'érosion diffuse des sols : modélisation du transport et de l'évolution granulométrique des particules érodées* (Thèse de doctorat). Université d'Orléans.
- Liu, G., Zheng, F., Wilson, G. V., Xu, X., & Liu, C. (2021). Three decades of ephemeral gully erosion studies. *Soil and Tillage Research*, 212, 105046
- Ludwig b., Auzet a.v., Boiffin j., Papy f., King d. Et Chadœuf j. (1996) - États de surface, structure hydrographique et érosion en rigole de bassins versants cultivés du Nord de la France. *Étude et Gestion des Sols*, vol. 3, n° 1, p. 53-70.
- Melalih, A. (2012). *Analyse des techniques de conservation de l'eau et des sols dans les zones arides : cas du bassin d'Aïn Sefra*. Mémoire de master, Université Abou-Bekr Belkaïd, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers, Algérie, 10 p.
- MEVRÜK, S., 2016. Çankırı Tathıçay Havzası Farklı Arazi Kullanım Türü / Arazi Örtüsünün (AKT/AÖ) Toprak Özellikleri Üzerine Etkileri. T.C. Çankırı Karatekin Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü. Lisans Tezi.
- Midekor, A., & Wellens, J. (2007). Initiation à ArcGIS (12–14 December 2007, Bobo-Dioulasso). Observatoire de l'Eau, with funding from APEFE.
- Moore, I. D., & Burch, G. J. (1986). Modelling erosion and deposition: topographic effects. *Transactions of the ASAE*, 29(6), 1624-1630.
- Morgan, R. P. C. (2009). European Soil Erosion Model (EUROSEM): A dynamic approach for predicting soil erosion by water.
- Mouffok, M. (2003). Thèse d'État : Orientation touristique de la région côtière occidentale de Mostaganem, secteur Sablette-Ouréah. Institut National des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (I.N.F.S.A), Mostaganem.
- Özcan, A. U., & Aytaş, İ. (2020). Effects of soil erosion on doline lake degradation within karst landscapes: Bakkal Lake, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 192, 1-16.
- Özden, Ş., & Özden, D. M. (1997). Türkiye toprak erozyon tahmin modeli TURTEM. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Ankara.

- Özşahin, E., & Uygur, V. (2014). The effects of land use and land cover changes (LULCC) in Kuseyr plateau of Turkey on erosion. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(4), 478-487.
- Öztürk, A., & Özcan, A. U. (2021). Uzaktan algılama teknikleri kullanarak RUSLE-C faktör haritalarının oluşturulması: Kırıkkale/Sarıkızlı Havzası. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 7(2), 143-151.
- Panagos, P., Borrelli, P., & Robinson, D. A. (2015). Tackling soil loss across Europe. *Nature*, 526(7572), 195-195.
- Poesen J., Nachtergaele J., Verstraeten G. and Valentin C., (2003). Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena* 50 (2-4): 91-133.
- Rahmati, O., Kalantari, Z., Ferreira, C. S., Chen, W., Soleimanpour, S. M., Kapović-Solomon, M., ... & Kazemabady, N. K. (2022). Contribution of physical and anthropogenic factors to gully erosion initiation. *Catena*, 210, 105925.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., & Yoder, D.C. (1997). Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agriculture Handbook No. 703*, USDA-ARS.
- ROOSE É. (1973) - Dix-sept années de mesure expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse Côte d'Ivoire. Thèse de Docteur Ingénieur, Université d'Abidjan (Côte d'Ivoire), Édit. ORSTOM, Abidjan, n° 20, 125 p
- Roose, E. (1993). L'érosion : un problème environnemental actuel. GCES, une nouvelle stratégie de lutte contre l'érosion pour résoudre ce dilemme dans une société en croissance. In S. Wicherek (Éd.), *Farm and Land Erosion: in Temperate Plains Environment and Hills* (pp. 571-585). Elsevier Science Publisher, Amsterdam.
- Roose É. (1994) - Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *FAO Soils Bulletin*, vol. 70, Rome, 420 p.
- Roose É. Chebbani R. Bougousa L. (1999). Ravinement en Algerie. Typologie, facteurs de contrôle, Quantification et réhabilitation. *Bull. Res. Eros. N°19. IRD. Montpellier*. 122-134.
- Römkens, M. J., Helming, K., & Prasad, S. N. (2002). Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness, and soil water regimes. *Catena*, 46(2-3), 103-123.
- Römkens, M. J., Wang, B., Zheng, F., & Darboux, F. (2013). Soil erodibility for water erosion: A perspective and Chinese experiences. *Geomorphology*, 187, 1-10.
- Salles, C., & Poesen, J. (2000). Rain properties controlling soil splash detachment. *Hydrological processes*, 14(2), 271-282.
- Santisteban, L. D., Casali, J., López, J. J., Giráldez, J. V., Poesen, J., & Nachtergaele, J. (2005). Exploring the role of topography in small channel erosion. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 30(5), 591-599.
- Savacı, G. (2012). "Kahramanmaraş İli Göz ve Haman Deresi Yağış Havzalarında CORINE Metodolojisi ile Erozyon Risk Haritalarının Oluşturulması". Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Saygin S D, Basaran M, Ozcan A U, Dolarslan M, Timur O B, Yilman F E & Erpul G (2011). Land degradation assessment by geo-spatially modeling different soil erodibility equations in a semi-arid catchment. *Environmental Monitoring and Assessment* 180(1-4): 201-215 <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1782-z>
- Saygin S D, Ozcan A U, Basaran M, Timur O B, Dolarslan M, Yilman F E & Erpul G (2014). The combined RUSLE/SDR approach integrated with GIS and geostatistics to estimate annual sediment flux rates in the semi-arid catchment, Turkey. *Environmental Earth Sciences* 71(4): 1605-1618 <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2565-y>

- Saygın, S. D. (2021). Toprak erozyonu ve koruma yöntemleri. Nobel Akademik Yayıncılık. ISBN 978-625-397-691-0.
- Simon, A.; Rinaldi, M. Disturbance, stream incision, and channel evolution: The roles of excess transport capacity and boundary materials in controlling channel response. *Geomorphology* 2006, 79, 361–383
- Toumi, Samir. 2013. Application des techniques nucléaires et de la télédétection à l'étude de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Mina. Thèse de doctorat, école nationale de l'hydraulique. p 9 et 36.
- Vanmaercke, M., Panagos, P., Vanwalleghem, T., Hayas, A., Foerster, S., Borrelli, P., ... & Poesen, J. (2021). Measuring, modelling and managing gully erosion at large scales: A state of the art. *Earth-Science Reviews*, 218, 103637.
- Valentin, C., Poesen, J., & Li, Y. (2005). Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena*, 63(2-3), 132-153
- Wang, B., Steiner, J., Zheng, F., & Gowda, P. (2017). Impact of rainfall pattern on interrill erosion process. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(12), 1833-1846.
- White W.R. 1986. Problèmes d'érosion, transport solide et sédimentation dans les bassins versants. Etudes et rapports d'hydrologie -35-, Programme Hydrologique International. Unesco, 161p.
- Wischmeier, W.H., et D.D. Smith. 1978. « Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning ». *Agriculture Handbook*, n° 537, Department of Agriculture Science and Education Administration, Washington, District of Columbia USA. U.S..
- Yılmaz, E. 2006. “Çamlıdere Barajı Havzasında Erozyon Problemi ve Risk Analizi”. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Fiziki Coğrafya Anabilim Dalı, Ankara.
- Yjjou, M. (2009). Modélisation de l'érosion hydrique dans le bassin de l'Oum Er Rbia en utilisant les SIG et l'Équation Universelle de Perte en Sols (USLE). Mémoire de fin d'études, Master en Sciences du Sol et Sciences de l'Environnement, Université Moulay Ismail, Meknès (Maroc).
- Young, Robert A., Charles A. Onstad, David D. Bosch, and Wayne P. Anderson. AGNPS, Agricultural Non-Point-Source Pollution Model. A Watershed Analysis Tool. 1987. U.S. Department of Agriculture, Conservation Research Report 35, 80
- Yüksel M., Dengiz O., Göl C. 2001. Çankırı-Kenbağı fidanlık topraklarının arazi kullanım uygunluğunun değerlendirilmesi. *Güneydoğu Anadolu Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi* 176: 12-23.

