

T.C.
Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü



Farklı Kapalılığa Sahip Sarıçam ve Kızılçam Meşcerelerinde
RUSLE-C Parametresinin ve Sediment Miktarının
Belirlenmesi Projesi Sonuç Raporu

Erozyon Kontrolü Daire Başkanlığı

2023

PROJENİN TANIMI

Adı: Farklı Kapalılığa Sahip Sarıçam ve Kızılcım Meşcerelerinde RUSLE-C Parametresinin ve Sediment Miktarının Belirlenmesi

Proje Sahibi Yürütücü Kuruluş: Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü

Diğer Yürütücü Kuruluşlar:

Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM): Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Alata Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

Orman Genel Müdürlüğü (OGM), İç Anadolu Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

Proje Yürütücüsü: Kenan İNCE

Araştırmacılar;

Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü; İskender DEMİRTAŞ,

Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü:

Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü; İlknur CEBECİ - Ödül ÖZTÜRK -M. Hilmi SEÇMEN

Alata Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü: Mete ÖZFİDANER, Kadir KUŞVURAN

İç Anadolu Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü; Mehmet TOKCAN

Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü; Osman POLAT

Mersin Orman Bölge Müdürlüğü; Muhittin Uğurcan ÖZGÜN, Hacı Mustafa AYDOĞMUŞ

Danışman: Prof.Dr. Orhan DOĞAN

Önerilen Süre: 96 ay

Başlama Tarihi: 2014

Bitiş Tarihi: 2022

Bütçe: 70266,6 TL

ÖNSÖZ

Toprak erozyon en yaygın tanımıyla toprak taneciklerinin çeşitli nedenlerle aşınıp yerinden taşınarak başka bir alanda birikmesi olayıdır. Erozyona neden olan başlıca etmenler ise toprak, topoğrafya, iklim, vejetasyon ve insan faaliyetleri olarak sınıflandırılmaktadır. Türkiye içinde bulunduğu coğrafi konum, iklim, topoğrafya ve toprak şartları ile erozyona oldukça hassas olmasının yanı sıra erozyonun sebepleri incelediğinde insan aktiviteleri erozyona sebebiyet veren en önemli faktörlerin ön plana çıkmaktadır.

Ülkemizde erozyon arazi kullanım türü açısından değerlendirildiğinde, tarım alanlarının % 38,71'inde, orman alanlarının % 4,17'sinde ve mera alanlarının ise % 53,66'sında erozyon meydana gelmektedir.

Ülkemizde erozyonun belirlenmesi ve önlenmesi amacıyla politikaların üretilmesi ve planlamaların yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Tarımsal araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü ve Orman Genel Müdürlüğü arasında imzalanan AR-GE projelerine ait alt protokol kapsamında yürütülen projede Ankara ili Çamlıdere ilçesi Sarıçam ve Mersin ili Erdemli ilçesi Kızılcım ormanlarında üniform bir sahada farklı kapalılığa sahip alanlarda, kapalılık değişiminin erozyona etkisi ve farklı arazi kullanımında RUSLE-C parametresinin belirlenmesi araştırılmıştır.

Erozyonun değerlendirilmesi ve ortaya konulması amacıyla bilimsel çalışmalar yapılmış, erozyon değerleri tespit edilemeye çalışılmış ve eşitlikler üretilmiştir. RUSLE C faktörü, Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (USLE) ve Revize Edilmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği (RUSLE) içinde, arazi kullanımında yapılabilecek farklı uygulamaların erozyon üzerindeki etkisini belirlemek için en sık kullanılan parametredir. Bu çalışmada da, deneme alanlarında oluşturulan yüzey akış parselleri ile taşınan sediment miktarı ve su erozyonunun belirlenmesine kullanılan RUSLE modelinin arazi örtüsü ve kullanımı parametresi (C) belirlenmiştir. Bu değerlerin belirlenmesi yapılacak erozyon kontrolü çalışmalarına yön verecek ve ülkemizde erozyonla mücadele için yapılması gerekenler ve yoğunlaşılması gereken alanların belirlenmesinde yol gösterici olacağı öngörülmektedir.

Proje, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü'nün desteği ile Erozyon Kontrolü Daire Başkanlığı, Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü ile Alata Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü tarafından 2014-2022 yılları arasında yürütülmüştür.

Projede emeği geçen Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü ve Orman Genel Müdürlüğü'nün değerli idarecilerine, teknik ve yardımcı personeline ayrıca projenin başlatılması ve yürütülmesinde büyük katkıları olan Suat ŞAHİN'e, bu süreçte emekli olan Hicrettin CEBEL'e ve Kadir KUŞVURAN'a teşekkürleri borç biliriz.

İÇİNDEKİLER

PROJENİN TANIMI.....	2
ÖNSÖZ	3
ÇİZELGE LİSTESİ.....	6
ŞEKİL LİSTESİ	7
ÖZET	8
ABSTRACT	9
1. GİRİŞ	10
1.1. Projenin Güncel Durumu ve Önemi.....	10
1.2. Amaçlar ve Gerekçeler	11
2. LİTERATÜR ÖZETİ	13
3. MATERYAL VE METOT	18
3.1. Materyal	18
3.1.1. Çalışma alanları.....	18
3.2. Metot.....	22
3.2.1. Deneme konuları	22
3.2.2. Alanın tasarlanması	23
3.2.3. Ölçümler	24
3.2.4. RUSLE-C faktörü.....	26
3.2.5. İstatistiksel analiz.....	29
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	31
4.1. Deneme Yeri Yağış ve Toprak Verileri.....	31
4.2. RUSLE-C Faktörü	32
4.3. Deneme Alanlarında Erozyon Durumu	41
5. SONUÇ	47
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
LİFLET	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

KISALTMA TANIMLARI

ÇEM :Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü
TAGEM: Tarımsal araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü
OGM : Orman Genel Müdürlüğü
RUSLE: Yenilenmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliğı
ha: Hektar
C1: 1 Kapalığa Sahip Parsel
C2: 2 Kapalığa Sahip Parsel
C3: 3 Kapalığa Sahip Parsel
K: İşlenmiş (Sürülmüş) Parsel
OT: Orman Toprağı Parseli
mm: Milimetre
SLR: Ortalama Toprak Kaybı
PLU: Önceki Arazi Kullanımı Alt Faktörü
CC: Tepe Kapalığı Alt Faktörü
SC: Yüzey Örtüsü Alt Faktörü
SR: Yüzey Pürüzlülüğü Alt Faktörü
SM: Toprak Nemi Alt Faktörü
%: Yüzde
cm: Santimetre
h:Saat
kg: Kilogram
da: Dekar
dS: Desisiemens
USLE: Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliğı
 C_f = Toprak Sağlamaştırma Faktörü
 C_b = Yüzey Örtüsü Sağlamaştırma Faktörü
 C_{ur} = Yüzey Örtüsüne Etki Eden Kalibrasyon Katsayısı
 B_{ur} = Yüzeydeki Kök Kütlesi Yoğunluğu
 C_{us} = Yüzey Örtüsüne Etki Eden Kalibrasyon Katsayısı
 B_{us} = Yüzeydeki kalıntı Kütlesi Yoğunluğu
 C_{uf} = Yüzey Örtüsü ile Toprak Bütünleşme Etki Katsayısı
 F_c = Tepe Çatısının Yüzeyi Örtme Oranı Katsayısı
H= Yağmur Damlasının Tepe Kapalığından Düştüğü Yükseklik
 S_p = Yüzey Kapalılık Yüzdesi
 R_u = Yüzey Pürüzlülüğü
EI: Yıllık R Yüzdesi
 EI_t : Toplam R Yüzdesi

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1. Havzada Yer Alan İstasyonların İklim Sınıfları	19
Çizelge 2. Çamlıdere İlçesi Arazi Örtüsü Alan Değerleri.....	19
Çizelge 3. Erdemli- Kayacı Meşcere Tipleri ve Alanları.....	21
Çizelge 4. Çamlıdere Ve Erdemli Çalışma Alanları 2015-2020 Su Yılları Yıllık Toplam Yağış Miktarları (mm).....	31
Çizelge 5. Çamlıdere Çalışma Alanı Orman ve Mera Toprak Analizi Değerleri	31
Çizelge 6. Erdemli Çalışma Alanı Orman ve Mera Toprak Analizi Değerleri.....	32
Çizelge 7. Çamlıdere Deneme Alanındaki Her Bir Parsel İçin Hesaplanan RUSLE-C Katsayısı Değerleri.....	38
Çizelge 8. Erdemli Deneme Alanındaki Her Bir Parsel İçin Hesaplanan RUSLE-C Katsayısı Değerleri.....	39
Çizelge 9. 2018 Yılında Türkiye Su Erozyonu Haritasının Yapımında Kullanılan RUSLE-C Değerleri (Panagos vd., 2015b). OT alanları için “Türkiye Su Erozyonu Haritası” oluşturulurken aralık belirlenmiş ve kapalılık yoğunluğuna bağlı olarak C değeri değişim göstermiştir.....	39
Çizelge 10. Yıllara Göre Çamlıdere’de Bulunan Parsellerin Erozyon Dağılımı (ton/ha/yıl) ..	42
Çizelge 11. Erdemli (Kayacı) Alanı İçin 2021 Su Yılı Erozyon Verileri (ton/ha/yıl)	45

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Çamlıdere Deneme Alanı ve Parseller [Harita] (Seyis, 2023).....	18
Şekil 2. Erdemli Deneme Alanı ve Parseller [Harita] (Seyis, 2023).....	21
Şekil 3. Yüzeysel akış parseli ve ölçüm tankları	24
Şekil 4. Ağaç tepe çatısının yüksekliğinin tepe kapalılığı değerine etkisi.....	34
Şekil 5. 2019-2021 yılları arası ortalama mevsimsel yüzey örtüsü kapalılığı (Çamlıdere).....	35
Şekil 6. 2019-2021 yılları arası ortalama mevsimsel yüzey örtüsü kapalılığı (Erdemli).....	36
Şekil 7. Nisan ayı için toprak nemi alt faktör değeri.....	38
Şekil 8. 2015-2020 su yılları arası erozyona sebep olan yağış toplamları dağılımı.....	42
Şekil 9. 2015, 2016, 2019, 2020 ve 2021 Yılları arasında ölçülen erozyon miktarı (ton/ha/yıl) (Çamlıdere).....	43
Şekil 10. Ankara İli Su Erzyonu Durumu Haritası (Demirhan A., 2023).....	44
Şekil 11. Mersin İli Su Erzyonu Durumu Haritası (Demirhan A., 2023)	46
Fotoğraf 1. Erdemli (a) ve Çamlıdere (b) çalışma alanlarından yağış verilerinin alınması	31
Fotoğraf 2. Çamlıdere çalışma alanı; C1 (a), C3 (d), OT (b) parselleri ve yeni sürümü gerçekleşmiş K (c) parseli ile Erdemli çalışma alanı; K, OT ve C1 parsellerinin soldan sağa görünümü (e)	32
Fotoğraf 3. Çamlıdere çalışma alanında biomass ölçümleri (a) ve Erdemli çalışma alanından sürüm işlemi sonrası K parseli (b).....	34
Fotoğraf 4. Erdemli çalışma alanında C1 parselinin yüzey kapalılık ölçümü	37

ÖZET

Erozyon doğal olarak gerçekleşen ancak insan etkisiyle artış gösteren bir doğa olayıdır. Toprak oluşum sürecinin bir parçası olan erozyonun değerlendirilmesi ve ortaya konulması çok bilinmeyenli parametrelerden oluşan zorlu bir süreçtir. Yapılan bilimsel çalışmalar ile erozyon değerleri tespit edilemeye çalışılmış ve bu çalışmalar sonucunda ampirik formüller belirlenmiştir. Bu ampirik formüller kullanılarak yüzeysel akış parselleri ile elde edilen sediment ve RUSLE-C değerleri belirlenmiştir.

Bu proje ile Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü ve Orman Genel Müdürlüğü arasında imzalanan AR-GE projelerine ait alt protokol kapsamında üniform bir sahada farklı kapalılığa sahip Ankara ili Çamlıdere ilçesi Sarıçam ve Mersin ili Erdemli ilçesi Kızılcım ormanlarında, kapalılık değişiminin erozyona etkisi ve farklı arazi kullanımında C parametresinin belirlenmesi amacıyla yüzeysel akış parselleri ile 2015-2021 su yılları arasında veriler elde edilmiş ve araştırmalar yapılmıştır. Her iki alanda da farklı arazi kullanımına sahip beşer deneme parseli kurulmuş ve her bir parsel için erozyon miktarı ve C faktörü değeri hesaplanmıştır.

Deneme alanlarında beklenildiği üzere en fazla toprak kaybı işlenmiş ve yüzeysel örtü kapalılığı olmayan K parselinde meydana gelmiş, bunu sırasıyla; OT, C2, C1 ve C3 parselleri takip etmiştir. Her deneme alanı için parsellerde meydana gelen toprak kayıpları bakımından her parsel diğer alandaki aynı parsel ile kıyaslandığında, Erdemli deneme alanındaki parseller Çamlıdere deneme alanındaki parsellere oranla daha fazla erozyon sağlamıştır.

Her iki alanda da her bir parsel için C değerleri belirlenmiştir. Deneme alanlarında belirlenen C değerleri erozyon miktarıyla uyumluluk göstermiş ve en büyük değer K parselinden sağlanmış ve bunu sırasıyla; OT, C1, C2 ve C3 parselleri takip etmiştir. Erdemli deneme alanından elde edilen C değerleri ile Çamlıdere deneme alanındaki parsellerden elde edilen C değerleri kıyaslandığında Erdemli deneme alanındaki parsellerin daha büyük C değerleri sağladığı görülmüştür. Buna paralel olarak 2021 yılında Erdemli deneme alanında Çamlıdere deneme alanına oranla daha fazla erozyon elde edilmiştir.

Elde edilen C değerleri Türkiye Su Erozyonu Haritasının güncellenmesinde altlık olarak kullanılmış ve erozyon miktarının Ankara için toplam erozyonun yaklaşık 76.000 ton arttığı Mersin ili için ise yaklaşık 120.000 ton arttığı belirlenmiştir. Bu değerlerin belirlenmesi yapılacak erozyon kontrolü çalışmalarına yön verecek ve ülkemizde erozyonla mücadele için yapılması gerekenler ve yoğunlaştırılması gereken alanların belirlenmesinde yol gösterici olacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Erozyon, Parsel, Sarıçam, Kızılcım, Toprak Kaybı, RUSLE, Yüzeysel Akış

ABSTRACT

Erosion is a natural phenomenon that increases with human influence. It is a part of the soil formation process, and its evaluation and understanding involve numerous unknown parameters. Empirical formulas have been derived from previous scientific studies to determine sediment and RUSLE-C values in runoff parcels.

To assess the impact of land cover changes on erosion and determine the C parameter in different land uses, data were collected and research was conducted between the water years 2015-2021 using runoff parcels in this project.

The study area comprised uniform regions with different cover types which are Scotch pine forests in the amlidere district of Ankara province and Calabrian pine forests in the Erdemli district of Mersin province. The project falls under the sub-protocol of the R&D projects signed between the General Directorate of Desertification and Erosion Recovery, the General Directorate of Agricultural Research and Policies, and the General Directorate of Forestry.

As expected, the highest soil loss occurred in the K parcel, which was cultivated and lacked surface cover in the experimental areas, followed by OT, C2, C1, and C3 parcels, respectively. Comparing soil losses among the trial areas, the plots in the Erdemli area exhibited more erosion than those in the amlidere area.

C values were determined for each plot in both areas. The C values obtained in the experimental areas corresponded to the amount of erosion, with the largest value obtained from the K plot, followed by OT, C1, C2, and C3, respectively. Comparing the C values between the Erdemli and amlidere trial areas, it was observed that the parcels in the Erdemli area had higher C values. Furthermore, more erosion occurred in the Erdemli area in 2021 compared to the amlidere area.

The obtained C values were used to update the Turkey Water Erosion Map, revealing an approximate increase of 76,000 tons in erosion for Ankara province and 120,000 tons for Mersin province. These findings are expected to guide erosion control studies and identify areas that require concentrated efforts in combating erosion in our country.

Keywords: Erosion, Parcel, Scotch Pine, Calabrian Pine, Soil Loss, RUSLE, Runoff

1. GİRİŞ

1.1. Projenin Güncel Durumu ve Önemi

Ekonomik, ekolojik ve sosyokültürel açıdan büyük öneme sahip olan ormanlar günümüzde küresel bir niteliğe sahip olmuş, korunması ve sürdürülebilir şekilde yönetilmesi için büyük uğraşlar gerektirmektedir. Ülkemizin % 29.4' ü orman alanından oluşmakta ve toplam orman alanının % 48'i ibrelî orman alanı olmakla birlikte bu alanların % 22.74'ü (5.215.292 ha) Kızılcım, % 6,15' i (1.472.988 ha) ise Sarıçam ormanından oluşmaktadır (OGM, 2020).

Orman alanları, orman içi açıklıklarda ve bu alanlarda yapılan tarımsal faaliyet sonrası oluşacak herhangi bir olumsuz etkinin önlenmesi sürdürülebilir bir kaynak yönetimi için büyük önem arz etmektedir. Orman ve orman içi açıklıklarda meydana gelebilecek toprak erozyonunun önlenmesi ve sürdürülebilir kaynak yönetimi politikalarının geliştirilmesi açısından erozyonun belirlenmesi ve önlenmesi gerekmektedir.

İklim değişikliğinin etkilerinin son yıllarda aşırı şekilde artması ve doğal ekosistemi olumsuz yönde etkilemesi sürdürülebilir doğal kaynak yönetimi için önem arz etmektedir. İklim değişikliğine uyum sağlanması, etkilerinin azaltılması ve tespit edilmesi sürdürülebilir doğal kaynak yönetimi için önemli bir yere sahiptir.

İklim değişikliği olgusunun bazı modellerle ortaya konulan senaryo sonuçları, ülkemiz açısından değerlendirildiğinde iklim değişikliğinin yağış değerlerini ve şiddetini etkileyeceği, topraktaki fiziksel ve kimyasal ayrışmayı hızlandıracağı ve bunun sonucunda toprak erozyonu miktarının artıracığı tahmin edilmektedir. Ayrıca bu iklim senaryolarına göre 2070-2100 yıllarında ülkemizin büyük bir bölümünün çölleşeceği de öngörülmektedir.

İklim değişikliğinin etkilerinin azaltılması ve toprak erozyonunda meydana gelebilecek olası artışların tespit edilerek önlenmesi amacıyla mücadele stratejileri geliştirilerek çalışmalar yürütülmesi alınabilecek etkin önlemler arasında yer almaktadır.

Erozyonun doğal olarak gerçekleştiği bilinmektedir ancak insan etkisi ile artış gösterdiği de bilimsel çalışmalarla belirlenmiştir. Toprak oluşum sürecinin bir parçası olan erozyonun tespiti ve sonuçlarının değerlendirilmesi çok bilinmeyenli parametrelerden oluşmaktadır. Toprak erozyonu kavramının belirlenmesi ile erozyonun oluşum süreçleri ve miktarı belirlenmeye çalışılmış ve çeşitli eşitlikler kullanılmıştır. Bu eşitlikler, farklı özelliklere sahip çok sayıda yüzeysel akış parselinin kurulması ve bu parsellerde yapılan deneme çalışmaları sonucunda elde edilen verilerin istatistiki olarak değerlendirilmesiyle üretilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda toprak erozyonunun tespit edilmesi ve önlenmesi amacıyla ulusal ölçekte gerçekleştirilen erozyon çalışmalarında RULSE modeli ön plana çıkmaktadır. Ülkemizde de RUSLE eşitliği yardımıyla erozyonun hesaplanması 2018 yılında ÇEM tarafından Türkiye Su Erozyonu Haritasının üretilmesiyle gerçekleştirilmiştir.

Bu proje ile Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü ile Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü ve Orman Genel Müdürlüğü arasında imzalanan AR-GE projelerine ait alt protokol kapsamında üniform iki sahada farklı kapalılığa sahip Sarıçam ve Kızılçam ormanlarında, kapalılık değişiminin erozyona etkisi ve Arazi Örtüsü ve Kullanımı (RUSLE-C) parametresinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

1.2. Amaçlar ve Gerekçeler

Orman alanlarında veya orman içi açıklıklarda gerek insan etkisi gerekse doğal yollardan erozyon meydana gelebilmektedir. Toprak erozyonu her alanda mücadele edilmesi gereken doğal veya insan etkisi sonucu ortaya çıkan süreçtir ve büyük zararlara yol açabilmektedir. Erozyon miktarının ve C parametresinin belirlenmesi ve erozyonu meydana getiren faktörlerin parsel bazlı küçük alanlarda tespit edilmesi yamaç erozyonunun çözümünün temelini oluşturmaktadır.

Ormanlarda ve orman içi açıklıklarda meydana gelen erozyona sebep olan etkenlerin belirlenmesi ve kontrol önlemlerinin geliştirilmesi erozyonla mücadele kapsamında büyük öneme sahiptir. Ülkemizde su erozyonunun miktarının belirlenmesi ve erozyonun yoğun olduğu alanlarda mücadele yöntemlerinin geliştirilmesi amacıyla 2018 yılında Türkiye Su Erozyonu Haritası oluşturulmuştur.

Türkiye Su Erozyonu Haritası, Yenilenmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği (RUSLE) kullanılarak oluşturulmuştur. Eşitlikte kullanılan parametrelerin belirli alanlarda tespit edilmesi ve ülkemize özgü olması hedefi doğrultusunda parsel odaklı RUSLE-C parametresinin belirlenmesi ve sediment miktarlarının ortaya konulması amaçlanmıştır.

Bu doğrultuda; Türkiye su erozyonu haritasının yapımında kullanılan RUSLE modelinin alt faktörlerinden biri olan Arazi Örtüsü ve Kullanımı (C) parametresinin farklı tepe kapalılığı ve arazi kullanım özelliklerine sahip sarıçam ve kızılçamdan oluşan orman tiplerinde belirlenmesi ve olay bazlı yağış ile parsel özelliklerine dayalı sediment oluşumunun değerlendirilmesi amacıyla parsellerden elde edilen veriler toplanmıştır.

Bu alışma ile ormanlarımızda meydana gelen değişimin erozyon miktarına etkileri değerlendirilerek, orman alanlarında erozyonla mcadele faaliyetlerinde yapılacak nceliklendirmelere katkı sağlayacağı ngrlmektedir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Toprak erozyonu, toprak taneciklerinin doğal veya insan kaynaklı bulunduğu alandan başka alana taşınarak birikmesi olarak değerlendirilen önmeli bir çevresel olaydır (Gelagay and Minale, 2016). Su erozyonu, yağış ve/veya yüzey suyunun başlangıçta toprak parçacıklarının ayrılmasına (toprak kaybı) neden olduğu yerçekimi güdümlü bir süreçtir (Christos vd., 2020; Gianinetto vd., 2020). Daha sonra, su akış şeklinde yamaçtan aşağı doğru hareket eder ve kopan parçacıkların aşağı yönde birikmesine (sedimentasyon) neden olur (Christos vd., 2020).

Toprak erozyonunun toprağın taşınması ve sedimentasyon sonucu neden olduğu ekonomik kayıplar ve çevresel sorunlar nedeniyle dünyada önemli tehditler arasında nitelendirilmektedir (Christos vd., 2020). Toprak kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi gerekliliği dünya çapında toprak erozyonunu konusunda farkındalığı ve araştırmaları arttırmıştır (Borrelli vd., 2017).

Toprak erozyonu toprağın oluşum sürecinin bir parçası olarak değerlendirilmesi ve ortaya konulması çok bilinmeyenli parametrelerden oluşan zorlu bir süreç gerektirmektedir. Sürece dayalı modeller ve ampirik modeller gibi toprak erozyonu modelleri, büyük ölçekli alanlarda meydana gelen toprak kaybını niceliksel olarak tanımlamayı kolaylaştırmak için (yoğun emek gerektiren saha ölçümlerine kıyasla) son yıllarda bir çok çalışma gerçekleştirilmiştir (Kinnell, 2010; De Mello vd., 2016).

Yapılan bilimsel çalışmalar ile erozyon değerleri tespit edilemeye çalışılmış ve bu çalışmalar sonucunda ampirik formüller belirlenmiştir. Evrensel Toprak Kayıpları Denklemi (USLE) (Wischmeier ve Smith, 1978) ve revize edilmiş versiyonu (RUSLE) (Renard vd., 1997) uzun vadeli ortalama yıllık toprak kaybını tahmin etmek, toprağın ve su kaynaklarının korunması amacıyla planlamalar yapmak için kullanılan en yaygın modellerdir (Kinnell, 2010).

RUSLE beş alt faktörden oluşmaktadır: yağış aşındırma faktörü (R), toprak aşındırılabilirliği (K), eğim uzunluğu ve dikliği (LS), arazi örtüsü ve yönetimi (C) ve erozyon koruma uygulamaları (P). Bu faktörler arasında arazi örtüsü ve yönetimi (C faktörü), bitki büyümesini ve yağış dinamiklerini takip ettiği için mekansal-zamansal olarak en hassas olanlardan biridir (Nearing vd., 2005). Bu faktör, sıfır ile bir arasında bir değer olarak tanımlanır ve belirli bitki kapallığı durumu altındaki araziden toprak kaybının, sürekli çıplak nadastan kaynaklanan arazideki kayba karşılık gelen su erozyonunun ağırlıklı oranını temsil eder (Oliveira vd., 2015b; Wischmeier ve Smith, 1978).

RUSLE C faktörü, USLE ve MUSLE içinde, arazi kullanımında yapılabilecek farklı uygulamaları erozyon üzerindeki etkisini belirlemek için en sık kullanılan faktördür (Renard vd. 1997). Arazi yönetimi ve kullanımında yapılacak değişikliğin ortalama yıllık toprak kaybını nasıl etkileyeceğini ve bu toprak kaybı potansiyelinin herhangi bir inşaat faaliyeti, ürün rotasyonu veya diğer yönetim planlarının zaman içinde nasıl uygulanabileceğini C faktörüyle belirlenir (Renard vd. 1997).

Toprak kullanımı ve bitki örtüsünün yönetimi ile ilgili çalışmalar, özellikle toprak kaybının tahminini amaçlayan modeller, eroziv süreçlerin azaltılması veya önüne geçilmesi için önemli olmaktadır (Kinnell, 2010). Toprak erozyonunu hesaplamak için geliştirilen modeller, ampirik formüller, kavramsal ve fiziksel süreçlere ve modellere dayalı hesaplamalar önem arz etmekte ve MUSLE modeli de büyük ölçekli alanlara ait toprak erozyonu durumunun belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda kullanılmaktadır (Renard vd. 1997). MUSLE modelinin içerdiği birçok alt faktörde olduğu gibi, C faktörü de bir standarttan sapma kavramına dayalıdır; bu durum, tamamen sürülmüş alan ile sürekli nadas koşulları altındaki bir alan arasındaki farklılıkları ortaya koyulmasında belirleyici olmaktadır (Renard vd. 1997).

Yapılan ilk çalışmalarda C faktörü, toprak kaybı oranı (SLR) ve yağış erozyonu oranı (EI; Renard vd., 1997) olarak adlandırılan ve önerilen alt faktörler kullanılarak parsel düzeyinde hesaplanmıştır (Renard vd. 1997). Ancak bu yaklaşım, farklı bölgelerde uygulanan çeşitli ekim uygulamaları nedeniyle daha geniş bir ölçeğe yayılamamaktadır (Shi vd., 2004; Zhang vd., 2014). C-faktörünün hesaplanması için doğal yağış ortamı altında toprak erozyonunun parsel düzeyinde ölçülmesi gerekmektedir, ancak bu çalışmalar pahalı ve zaman alıcıdır (Nearing vd., 2000).

Ürün ve arazi yönetim şeklinin, toprak kayıpları üzerindeki genel etkisinin bir dizi alt faktör tarafından tetiklendiğini belirlemiştir (Renard vd. 1997). Toprak kayıpları üzerindeki genel etkinin belirlenmesinde; Toprak Kayıpları Ortalaması (SLR) kullanılmakta, SLR; gerçekte meydana gelen toprak kaybının, tahmini toprak kaybı için referans değeridir (Renard vd. 1997). SLR, değerinin belirlenmesi MUSLE'de kullanıldığı gibi, SLR'nin içerdiği alt faktörlerinin her birinin belirlenmesi ve çarpılması sonucu elde edilir (Wischmeier, 1975; Renard vd. 1997).

SLR değerlerinde meydana gelebilecek değişikliklerin nasıl meydana geldiğini belirlemek için bir yıl boyunca veya ürün rotasyonu süresince yeterli ve sık hesaplamaların yapılması gerekmektedir (Renard vd. 1997). SLR hesaplamasında kullanılan değerler genellikle toprak

işleme türüne, toprak işleme işleminden sonra geçen süreye, kanopi gelişimine ve hasat tarihine göre belirlenir (Renard vd. 1997).

Yağış enerjisinin zamanla değişim gösterdiği gibi erozyon potansiyelide değişimler göstermektedir bu nedenle USLE ve RUSLE modelleri bu etkiyi, mahsulün büyüme aşamalarına dayanan SLR değerlerinin değişimini hesaplamalarına dahil etmiştir (Wischmeier ve Smith 1978).

Laflen ve ark. (1985) ve Weltz ve ark. (1987)' de RUSLE için yaptıkları çalışmada; önceki arazi durumu, arazi yönetimi, tepe kapallığı, yüzey örtüsü kapallığı, yüzey pürüzlülüğü ve nem oranının düşük olması gibi etkenlerin erozyonun oluşmasında azaltıcı etkiye sahip alt parametre olduklarını belirlemişlerdir (Renard vd. 1997).

Ekili arazilerin neredeyse tamamında, meraların veya meraların yönetildiği birçok durumda, mahsul ve toprak parametrelerinin her biri belirli yönetim uygulamaları sonucu (kış devrilme ve bahar büyümesi gibi) doğal döngüsel etkiler nedeniyle zamanla değişim gösterir (Renard vd. 1997). Oğuz (1995) tarafından 1985 –1995 yılları arasında C faktörünü belirlemek amacıyla yapmış olduğu çalışmada; mera için C faktörünü “0” olarak hesaplamış ve söz konusu araştırma alanı için meraların kontrollü otlatılması durumunda, toprak koruma amaçlı hiç bir ilave tedbire gerek duyulmadığını belirtmiştir (Oğuz İ., 1995).

Oğuz vd. (2006), tarafından Tokat Çelikli Havzasında yürütülen bir araştırmada mera alanlarında nem oranının yetersiz olduğu ve bu durumun önlenmesi amacıyla mera alanlarında; çukurlar ve kontur karık gibi uygulamaların toprakta meydana gelecek yüzeysel akışı azaltacağını ve erozyonun engelleneceğini belirlemiş ayrıca mera alanlarında yapılacak nemin arttırılmasını sağlayacak uygulamaların ot verimini ve yeşil kalma süresini arttıracığını belirtmiştir.

Türkiye'nin hem yüksek hem de çok engebeli bir yapıya sahip olması, erozyonun şiddetini artırmaktadır. Toprak özellikleri üzerine arazi şeklinin etkisi toprak oluşumu ve toprak erozyonu ile ilgilidir Pierson ve Mualla (1990). Batı Akdeniz'de bulunan Dalaman havzasında CBS tekniklerini DGCONA, CORINE, USLE gibi erozyon belirleme yöntemleri kullanılmış ve alanın erozyon risk durumları hesaplanmıştır (Doğan ve Cebel, 1998). Doğan ve Cebel, 1998'deki çalışması sonucunda elde ettiği CORINE potansiyel erozyon risk haritasına göre toprakların % 16'sında erozyon riski düşük, % 45'inde orta ve % 35'inde ise yüksek potansiyele sahip olduğu, DGCONA erozyon durum haritasına göre ise havzanın % 17'sinde çok hafif ve

hafif, % 23'ünde orta ve % 60'ında şiddetli ve çok şiddetli derecede erozyon tehlikesi olduğu ve USLE yönteminin sonuçlarına göre de havzanın % 38'inde 25–200 t/ha/yıl ve % 62'sinde ise 25 t/ha/yıl olarak erozyon meydana geldiğini belirlemiştir (Doğan ve Cebel, 1998).

Köse ve Sayın 1978'deki çalışması sonucunda, beş yıllık çalışma süresince eğime dik sürüm ve ekimin işleminin, toprak ve su muhafazasına etkisini belirlenmiş ve araştırma sonuçlarına göre USLE modeliyle yılda 1.47 t/ha toprak kaybı olabileceğini hesaplamışlardır.

Yüzeysel akış ve besin maddeleri kayıpları çoğunlukla kışlık bitkilerin yetiştirildiği tarlalarda oluşan yüzeysel akış ile %75, kısa saplı olarak kesilmiş tarlalarda ise % 61 olarak meydana gelmiştir (Pomeshchikov, 1988). Ormanlık alanlarda yüzey akışın yeraltı suyuna geçmesiyle havzadaki sediment kayıpları azalarak küçük akarsuların su seviyeleri kararlı bir hale gelmiş ve sedimentasyonun azaldığı görülmüştür (Pomeshchikov S.P., 1988).

Yüzeysel akışla taşınan sediment miktarının belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada toprak taşınımı, yüksek tarımsal havzada 3.7 t/km² olurken, ormanlık havzada ise 1.3 t/km² olarak belirlenmiştir (Mrozek T., 1992).

Orman yoğunluğundaki azalmanın yüzeysel akışın meydana gelmesindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada homojen seyreltme ile 8 ha'lık havzada % 50 azaltma yapıldığında yüzey akışın % 25-30 oranında arttığı gözlenmiştir (Jayasuriya vd., 1993).

İğne yapraklı orman alanlarından elde edilen verileri dere akış karakteristikleri ile sediment konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi tanımlamak için yapılan çalışmada kesim yapılan ormanda en fazla sediment verimi kar erimesi sonrası meydana gelen yağışlar sonucu oluşmuş ve en düşük sediment verimi ise kar erimesi sonrasında meydana gelmiştir (Brooks vd., 1994b).

Havzanın hafif, orta ve yüksek eğimli mera ve ekili alana kurulu parsellerde yarı kurak ortamlarda farklı yamaç eğimleri ve arazi kullanım koşulları için RUSLE P ve C faktörlerini belirledikleri çalışmada C faktörü değerleri meralarda 0,23 ile 0,82 aralığında, ekili arazilerde ise 0,03 ile 0,35 aralığında olduğu belirlenmiştir (Taye vd., 2017). Meralardaki bu değişkenliğin

Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, dinamik RUSLE-C değerinin diğer değişkenlere bağlı olarak (yağış, yüzey ve tepe kapallığı, arazi yönetimi, nem ve pürüzlülük) erozyona etkisi araştırılmıştır. Bu doğrultuda, hesaplanan RUSLE-C değerleri ülkemizde meydana gelen erozyon miktarının ve her iki çalışma alanından elde edilen C değerinin ulusal ölçekte benzer alanlardaki bitki örtüsünün kontrol edilmesi, tarımsal yönetimin desteklenmesi ve bu

doğrultuda toprak erozyonunun belirlenmes, azaltılması ve son aşamada kontrol altına alınması amacıyla politikaların üretilmesi ve planlama yapılması için kullanılabilir.

Çamlıdere ilçesi Karadeniz Bölgesi ile İç Anadolu Bölgesi arasında bir geçiş kuşağında yer alır. Havzada yıllık ortalama yağış Çamkoru ve Kızılcahamam'da 508 mm, Çamlıdere'de 444 mm, Peçenek istasyonunda ise 403 mm civarındadır. Yani Baraj çevresi yarı kurak iklim bölgesi sınırındayken baraj gölünden uzaklaştıkça yağış artmaktadır. Bunda yükseltinin de etkisi vardır.

Çalışmanın yürütüldüğü 2015-2021 su yılları arasında Çamkoru'da 2015,2016,2019 ve 2020 su yılları yıllık toplam yağış ortalaması 320,3 mm ve ortalama sıcaklık 8,7 °C ölçülmüştür.

Çizelge 1. Havzada Yer Alan İstasyonların İklim Sınıfları

İstasyon	Yıllık Ortalama Toplam Yağış (mm)	Yıllık Ortalama Sıcaklık (oC)	Ortalama Aylık En Yüksek Sıcaklık (oC)	De Martonne	Erinç
Çamlıdere	444,5	8,7	25	Yarı Nemli	Yarı Kurak
Peçenek	403,1	8,7	27,7	Yarı Nemli	Yarı Kurak
Kızılcahamam	508,3	9,8	27,7	Yarı Nemli	Yarı Kurak

Çamlıdere ilçesinin bugünkü arazi kullanım durumu CORİNE 2018 göre sınıflandırılmıştır. CORİNE verilerine göre ilçenin % 39, 88'i doğal çayırliklar, % 26,95'i ise iğne yapraklı ormanlardan oluşmaktadır. Arazi kullanım sınıfları Çizelge 2'de verilmiştir.

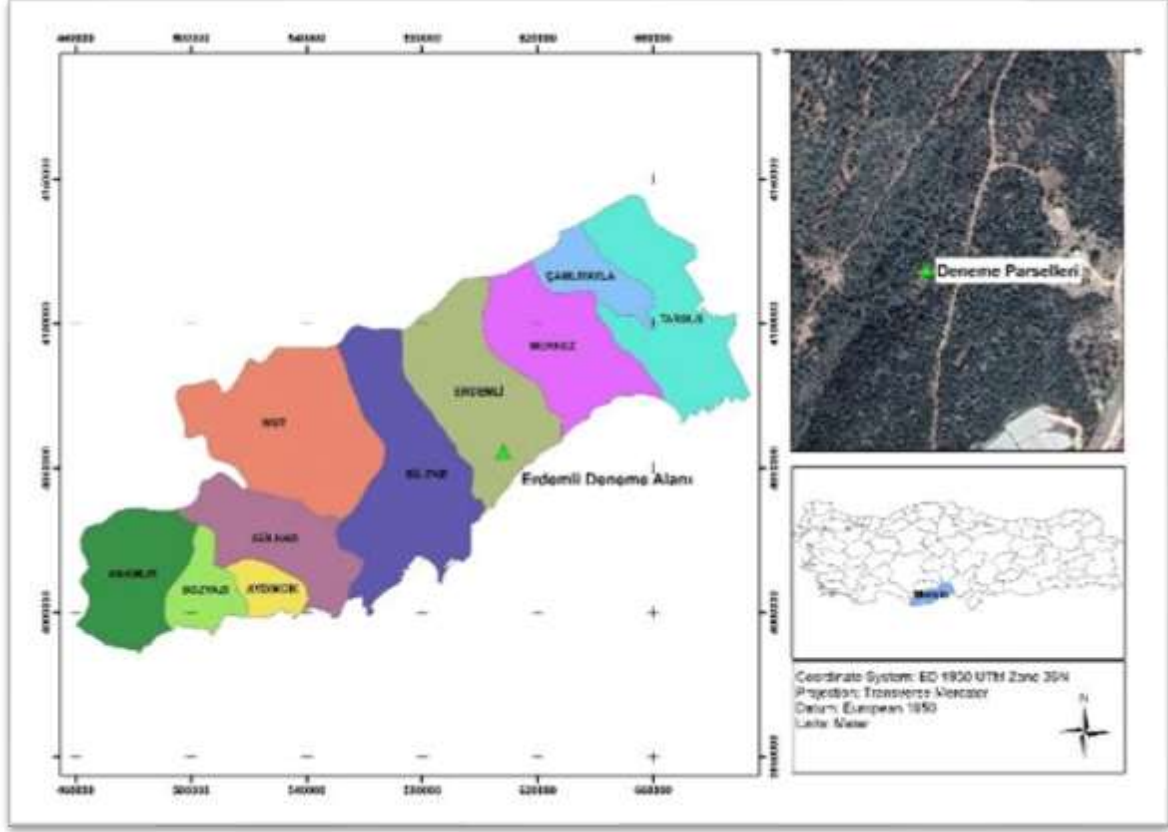
Çizelge 2. Çamlıdere İlçesi Arazi Örtüsü Alan Değerleri

Corine Kodu	Kod Açıklama	Alan %
324	Bitki değişim alanları	11,88
3321	Çıplak kaya	1,39
243	Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları	3,12
321	Doğal çayırliklar	39,88
311	Geniş yapraklı ormanlar	1,59
312	İğne yapraklı ormanlar	26,95
133	İnşaat sahaları	0,04
122	Karayolları, demiryolları ve ilgili alanlar	0,52
313	Karışık ormanlar	3,1
1122	Kesikli kırsal	0,6
231	Meralar	0,49
333	Seyrek bitki alanları	3,47
142	Spor ve eğlence alanları	0,12
512	Su kütleleri	2,54
2111	Sulanmayan ekilebilir alan	0,38
2421	Sulanmayan karışık tarım	3,94

Toprak özellikleri bakımından amlıdere ilçesi genel olarak volkanik, volkanik-gösel, gösel ve karasal akarsu çökellerinden oluşmaktadır. En yaşlı birim Alt-Orta Miyosen gösel ve volkanik serilerinden oluşur. Volkanik birimler alanda en geniş yayılıma sahiptir. Alt-Orta Miyosen, havzada bir geçiş teşkil edecek şekilde yayılmaktadır. Bir kısmı kireçtaşı ve kiltaşlarından, bir kısmı kiltası ile volkanik materyal ara katkılı, bir kısmı da volkanik tuf, dasit ve andezit ağırlıklı diğere volkanik malzemelerden oluşur. Toprak çeşitliliği oldukça azdır. Bunun nedeni anakaya özelliklerine bağlıdır. Çünkü havzanın neredeyse tamamı volkanik ve volkanik ara katkılı formasyonlardan oluşmaktadır. İlçe toprakları Büyük Toprak Gruplarına göre % 85,40' Kireçsiz Kahverengi Orman Toprağı, % 13,36'sı Kahverengi Orman Toprağı ve % 1,24'ü Alüvyal, Kolüvyal ve Kahverengi Topraklardan oluşmaktadır. (Yılmaz, 2006)

Erdemli Kayacı Mevkii: Köy merkezinin Erdemli ilçesine uzaklığı 13 km, Mersin iline uzaklığı ise 55 km'dir. Çalışma alanının denizden yüksekliği ortalama 660 m, bakısı güneydoğu olup ortalama eğim % 25 civarındadır. Kuzey batısında Toros Dağları ve Ereğli, kuzey doğusunda ve doğusunda Mersin, güney batısında Silifke, güney ve güneydoğusunda Akdeniz ile çevrilidir. İlçe merkezinin ve kıyı şeridindeki yerleşim merkezlerinin denizden yükseltisi 3 ile 50-metre arasında değişmektedir. Yüzölçümüdür 2863 km²'dir. Coğrafi olarak 36°39' 54.63" K, 34°11' 17.83" D konumunda yer alan Kayacı ormanının denizden yüksekliği 780 m'dir.

Çalışma alanı ve bölgede Akdeniz iklimi hâkimdir. Yazları sıcak ve kurak geçmekte, kışları ise ılık ve yağışlı olmaktadır. Uzun yıllar iklim verilere göre Erdemli'de ortalama yıllık sıcaklık 18.8°C' dir. Akdeniz kıyı şeridinde yıllık ortalama sıcaklık 17°C ile 20°C arasında değişmekte olup bu değerler ülkemizin en yüksek yıllık ortalama sıcaklık değerleridir. Yıllık ortalamalara göre en sıcak ay 27, 3 °C ile ağustos ayı, en soğuk ay ise; 9,7 °C ile ocak ayıdır. Bölgedeki yağış rejimi düzensizlikler göstermekle birlikte ocak-nisan ayları aralığı yağışlı dönem, temmuz ve ekim ayları aralığı ise yağışların en az görüldüğü dönemdir. Kayacı'da 2015-2021 su yıllarında yıllık toplam yağış ortalaması 541, 3 mm ve ortalama sıcaklık 19 °C olarak ölçülmüştür.



Şekil 2. Erdemli Deneme Alanı ve Parseller [Harita] (Seyis, 2023)

Erdemli Kayacı Mevkii CORİNE 2018 göre sınıflandırıldığında çalışma sahasının bulunduğu mikro havzanın arazi kullanım durumu; Bitki Değişim Alanları 3396.88 ha, Doğal Bitki Örtüsü ile Birlikte Bulunan Tarım Alanlarının 63.45 ha, Doğal Çayırliklar 4.72 ha, Geniş Yapraklı Ormanlar 2007.93 ha, Karışık Ormanlar 819.65 ha, Kesikli Kırsal 63.98 ha, Meyveyle Karışık Sulu Alanlar 168.65 ha, Seyrek Bitki Alanları 1.32 ha, İğne Yapraklı Ormanlar 47.32 ha olarak sıralanmıştır. Parsellerin tesis edildiği alan 313 Corine Kodlu karışık ormanlar sınıfına girmektedir ancak alanın küçük olmasından dolayı alanda sadece Kızılcım hakimdir. Çalışma alanında yer alan meşcere tipleri ve alansal dağılımları Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 3. Erdemli- Kayacı Meşcere Tipleri ve Alanları

Meşcere Tipleri	Alan (ha)
Bozuk Orman Alanları	4612,14
Çza	3,09
Çzab3	80,84
Çzb3	3,72
Çzbc3	74,57
Çzc2	43,98
Çzc3	56,46
Çzcd1	117,21

Çzcd2	160,58
Çzcd3	142,57
Çzd1	2,38
ÇzGÇkScd	21,86
GSArcd/Sa	14,56
İskan	118,75
Orman Toprağı	30,51
SArcd/Sa	2,11
Scd/a	6,17
Scd1	20
Ziraat	1593,2
Ziraat İskan	103,69
Toplam	7208,39

Erdemli ilçesinde Kırmızı Kahverengi Akdeniz Toprakları ve Kahverengi Orman Toprakları hakimdir. Kırmızı Kahverengi Akdeniz Toprakları; konglomeratik kireçtaşı ana kayalı sekiler üzerinde ve yazları sıcak-kurak Akdeniz iklimi etkisinde oluşmuş topraklardır.

3.2. Metot

3.2.1. Deneme konuları

Deneme parselleri, nispeten homojen eğim (%10-12) ve farklı tepe kapalılığı oranlarına sahiptir. Her iki deneme alanında da bir kapalı %10-41(C1), iki kapalı %41-70 (C2), ve üç kapalı %70-100 (C3) olan üçer adet sarıçam (Çamkoru) ve kızılçam (Kayacı) mesçeresi altında parseller ayrıca farklı kullanım durumuna sahip, birer toprak işlemeli parsel (K), ve üzerinde bitki örtüsü olan birer doğal orman toprağı parseli (OT) olmak üzere deneme parselleri kurulmuştur. Yüzey akış parsellerinin boyutları alanda oluşabilecek maksimum yağış miktarı ve sediment taşınımını sağlayacak kapasite değerlendirilerek tasarlanmıştır. Parsel boyutları, Çamkoru'da $20 \times 4 = 80 \text{ m}^2$ ve Kayacı'da ise $10 \times 4 = 40 \text{ m}^2$ boyutunda olup deneme tek tekerrürlü olarak yürütülmüştür.

Konular (Kapalılığın C değerine etkileri):

1. OT = Orman toprağı parseli
2. C1 = 1 Kapalılığa sahip parsel
3. C2 = 2 Kapalılığa sahip parsel
4. C3 = 3 Kapalılığa sahip parsel
5. K = İşlenmiş (Sürülmüş) Parsel

Her iki lokasyonda da 5 farklı parselde ölçümler yapılarak birbiriyle karşılaştırılmıştır. Her yağıştan sonra, sediment akışının bitimini takiben ölçümler gerçekleştirilmiş ve çalışma yapılan orman alanlarında C değerinin değişimine ilişkin sonuçlar bulunmaya çalışılmıştır.

3.2.2. Alanın tasarlanması

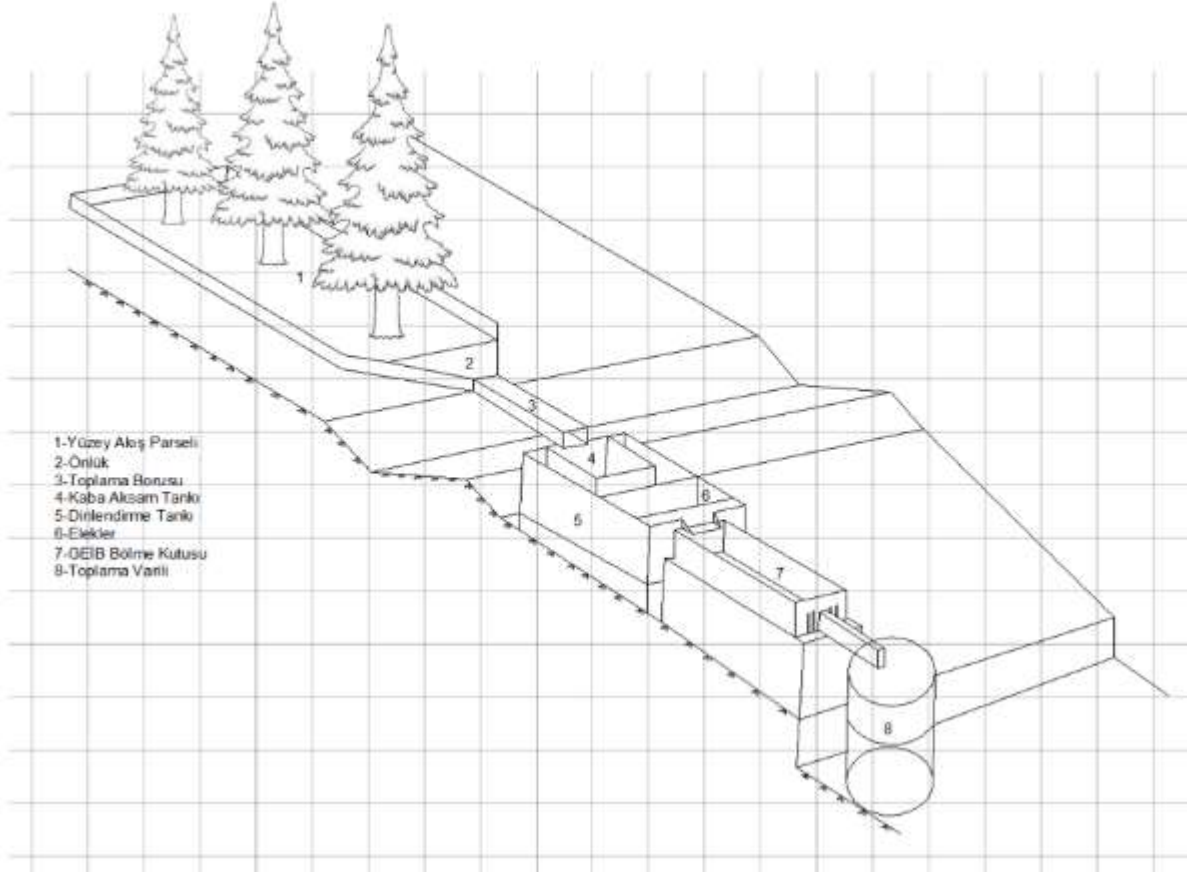
Çamkoru için 2014 yılında, Kayacı için 2015 yılında farklı ibreli türler için çalışma alanı seçimi tamamlanmış ve yer seçimi yapılırken iklim farklılıkları göz önünde bulundurulmuştur. Her iki alanda da, deneme yeri seçiminden sonra her bir parsel için inşa ve kurulum işlemleri yapılmıştır.

Orman kapalılık derecelerine göre her parselde toprak kayıplarını belirlemek için sediment ölçüm tankları, yağış ve nem ölçüm sistemleri alana yerleştirilmiştir. Deneme Parsellerine 0-30 cm'de toprak nemi ölçümü için sensörler yerleştirilmiştir. Yağış değerleri ise dakikalık ölçüm sağlayan "tipping bucket" yağış ölçer sistemiyle sağlanmıştır.

Çamkoru ve Kayacı Ormanları'nda kurulan her parselin sınırları, yüzeysel akışa geçen suyun parsel dışına taşmasını önlemek amacıyla 20 cm yüksekliğinde beton duvarla çevrilmiştir. Parsel büyüklük farklılıkları, çalışma lokasyonları arasında farklılık gösteren yağış miktarları temel alınarak hesaplanmıştır ve maksimum yağış değerleri dikkate alınarak dizayn edilmiştir.

Yüzey akış parseli ve ölçüm tanklarında;

- 1) Yüzey akış Parseli
- 2) Önlük,
- 3) Toplama Borusu,
- 4) Kaba Aksam Tankı,
- 5) Dinlendirme Tankı,
- 6) Elekler,
- 7) Geib Bölme Kutusu,
- 8) Toplama Varili bulunmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Yüzeysel akış parseli ve ölçüm tankları

Çamkoru ve Kayacı'daki yamaç arazilerinin kullanımı, farklı iklim koşulları, toprak, ağaç türü etkileri ve diğer saha faktörleri arasında lokasyonlar arasında bir karşılaştırma sağlamıştır. Ayrıca bu çalışmada parsellerde farklı kapalılık özelliğinin RUSLE-C ve sediment taşınımı üzerindeki etkisi de karşılaştırılmıştır.

3.2.3. Ölçümler

3.2.3.1. Yağış, sıcaklık ve toprak nem ölçümü

Her iki lokasyonda meteorolojik parametreler deneme alanı yakınına kurulan otomatik meteoroloji gözlem istasyonundan alınmıştır. İstasyona yerleştirilen datalogger “tipping bucket yağış ölçer” aracılığıyla veriler toplanmıştır.

Yağış intensitelerini belirlemek için RainMaxLaz programı (R. Brown, US Forest Service, yayınlanmamış yazılım) kullanılmıştır. Her yağış 6 saatlik yağışsız periyotlara ayrılarak intensiteleri 10 dk, 30 dk ve 60 dk olarak ayrılmıştır. Toplam yağış miktarını (mm), yağış süresi (dk) ve oluşan farklı yağışlar ayrı olarak değerlendirilmiştir.

3.2.3.2. Bitki örtüsünün ölçümü

Zemin örtüsü, 10 cm kareli 1 m'lik bir quadrat kullanılarak her bir parselde 3 farklı noktadan rastgele ölçülmüştür. Elde edilen 300 kareli noktasal ölçümün ortalaması alınarak alanın yüzey kapalılık yüzdesi belirlenmiştir. Deneme alanının vejetasyon dönemine bağlı olarak, yüzey kapalılık ölçümleri Çamlıdere deneme alanı için Mayıs, Temmuz, Eylül ve Ekim aylarında, Erdemli deneme alanı için ise Nisan, Haziran, Ağustos ve Ekim aylarında tamamlanmıştır. Yapılan 4 ölçüm döneminde elde edilen verilerin ortalama değerleri kullanılmıştır.

Her bir örtü sınıfı için ortalama bir örtü değeri üretmek üzere her parselde yüzey örtüsü sınıflandırması bitki artıkları, çakıllar, kayalar, canlı bitki örtüsü, ibreler (kuru ibreler, yapraklar ve çapı 1 cm'den küçük ağaç parçaları), odun parçaları (çapı 1 cm'den büyük), çakıl (çapı 5-75 mm) ve kaya (>7,5 cm çapında) verilerin üç quadrat boyunca ortalaması alınarak yapılmıştır (Demirtaş, 2017).

Zemin örtüsü ölçümleri iki kategoride sınıflandırılmıştır: yağış kesecek olan durdurma örtüsü (C1, C2 ve C3) ve toprak yüzeyi ile temas eden yüzey örtüsü (C1, C2, C3, OT ve K). Çamkoru'da zemin örtüsü ölçümleri Mayıs 2019, 2020, 2021, Temmuz 2019, 2020, 2021 ve Eylül 2019, 2020, 2021 tarihlerinde yapılmıştır. Kayacı ormanında zemin örtüsü ölçümleri Nisan 2019, 2020, 2021, Eylül 2019, 2020 ve 2021 tarihlerinde yapılmıştır. Yüzey kapalılığı ölçümleri genellikle vejetasyon döneminin başlangıcı, ortası ve sonunda ölçülerek ortalama kapalılık değerleri dikkate alınmıştır.

3.2.3.3. Sediment ölçümü

Sediment miktarı, Çamkoru ve Kayacı'daki deneme alanlarında farklı konulardan oluşan 5'er parselde ölçülmüştür. Yüzey akış sırasında parsellerden dışarı sızıntıyı önlemek için her bir parsel etrafı 20 cm yüksekliğinde beton duvar ile çevrilmiştir (Robichaud ve Brown, 2002). Deneme parsellerinin eğim yönündeki uzunluğu Çamkoru'da 20 metre, Kayacı'da 10 metre olmak üzere her iki alanda da tüm parseller 4 m genişliğinde kurulmuştur.

Parsellerden gelen yüzey akış ve toprak kaybı bir sac oluk yardımıyla düz beton bir zemine oturtulmuş ölçüm tanklarında (kaba aksam tankı, dinlendirme tankı, geib bölme kutusu, toplama varili) toplanmıştır. Ölçüm sisteminde biriken yüzey akıştan önlükten gelen miktar düşüldükten sonra geri kalan seviye yüzey akış miktarı olarak kayıt edilmiştir.

Sahada kontrol esnasında su seviyesi bir cetvel yardımı ile ölçülmüştür. Bu ölçülen su miktarı beton önlük alanına düşen yağış kadar veya daha az ise, hiçbir yüzey akış olmamış demektir.

Ancak parselden yüzey akış ile varile ulaşan su miktarından gerekli örnekler alınmıştır. Bu amaçla varilde bulunan süspanse sediment homojen bir dağılıma ulaşincaya dek karıştırılmış ve bir litrelik şişeye örnek alınmıştır. Alınan örnekler gerekli analizler yapılmak üzere laboratuvara getirilmiştir. Beton önlükler üzerinde bulunan topraklar da toplanarak kaba aksam olarak değerlendirilmiştir. Toplanan kaba materyalin sahada yaş ağırlıkları ölçüldükten sonra laboratuara getirilerek, etüvde 105 °C’de 24 saat kurutulup hassas terazide tartılıp ton/ha cinsinden parsel bazlı toprak kaybı değerlendirilmiştir.

Çamkoru sahasında 2019-2021 su yılları arasında her yağış sonrası düzenli olarak sediment ölçümleri yapılırken, Kayacı ormanında veri toplama güçlükleri ve sahadaki diğer aksaklıklar nedeniyle düzenli olarak sadece 2021 su yılı ölçümleri yapılmıştır.

Olay Bazlı (Yağışa Bağlı) Sediment Ölçümü

Sediment ölçümleri her yağış sonrası alınarak sediment taşınımına etki eden faktörler değerlendirilmiştir. Olay bazlı sediment ölçümünde sedimentin olduğu alan sınırlandırılmıştır. Sediment taşınımına etki eden yağış (intensite), yüzey kapalılığı, yağış anındaki nem durumu, pürüzlülük, geçirgenlik ve su iletkenliği durumu gibi ana etken faktörlerin bilinmesi oluşacak yüzeysel akış ve taşınan sedimentin belirlenmesini ve hangi etken ve bağımsız değişkenin sediment taşınımını tetiklediğinin bilinmesini sağlar. Büyük alanlarda veya sınırlandırılmamış alanlarda yapılan sediment ölçümlerinden net veri elde edilme güvenilirliğini düşürür ayrıca sediment taşınımına etki eden etken faktörlerin belirlenmesini zorlaştırır. Bu nedenle olay bazlı çalışmalarla elde edilen eşitlikler (RUSLE vb.) daha büyük alanlar için erozyon miktarı elde etmek için kullanılır.

Bu çalışmada her yağış olayı sonrası ölçümler alınarak, yağış ve diğer etken faktörlerin etkileri doğrultusunda sediment verileri analiz edilmiş ve sediment taşınımı ile diğer bağımsız faktörlerin ilişkisi belirlenerek oluşan sediment miktarları istatistiki olarak analiz edilmiştir (Demirtas, 2017).

3.2.4. RUSLE-C faktörü

RUSLE-C'nin belirlenmesi, beş alt faktörden oluşan toprak kayıp oranının (SLR) hesaplanmasını gerektirir. Ürün ve toprak yönetimi uygulamalarına ve bunların toprak kaybı üzerindeki etkilerine ilişkin olarak SLR aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır (Lafren vd. 1985; Renard vd. 1997).

$$SLR = PLU \cdot CC \cdot SC \cdot SR \cdot SM \cdot (1)$$

Eşitlikte; SLR belirli bir koşul için toprak kaybı oranıdır, PLU önceki arazi kullanımı alt faktörüdür, CC tepe çatısı kapalılık örtüsü alt faktörüdür, SC yüzey örtüsü alt faktörüdür, SR yüzey pürüzlülüğü alt faktörüdür ve SM toprak nemi alt faktörüdür.

Toprak kaybı, her bir alt faktörden etkilenir ki bunlar; toprak kaybını etkileyen ürün ve toprak yönetimi uygulamalarını içerir. Her alt faktör, örneğin tepe çatısı gölgelik kapalılık, kalıntı örtüsü, yüzey pürüzlülüğü, yer altı biyokütlesi (kök kütlesi ve önceki üründen kalan kalıntı), toprak nemi ve zaman gibi farklı nitelikler içerir. Çalışmada her parsel için tüm alt faktör özellikleri ölçülmüştür. PLU değeri parsellerin arazi kullanım durumu dikkate alınarak ölçülmüş ve elde edilen değerler denklemde kullanılmıştır. CC değeri ağaç boyları ölçülerek parseldeki ortalama kapalılık belirlenerek hesaplanmıştır. SC değeri quadrat kullanılarak ölçülen yüzeysel kapalılık değerinin ortalamasının alınmasıyla belirlenmiş ve denklemde kullanılmıştır. SR değeri ölçümü parsellerde yapılamamış ancak Renard vd., 1997'de yer alan fotoğrafların değerlendirilmesi ve alana en uygun fotoğrafın içerdiği değer kullanılarak belirlenmiştir. SM değeri erozyonun meydana geldiği ve vejetasyonun yoğun olarak yüzeysel akışa etki ettiği dönem olan ilkbaharda ölçülen ortalama değer olarak alınmış ve denkleme eklenmiştir.

3.2.4.1. Önceki arazi kullanımı alt faktörü (PLU)

PLU, toprak konsolidasyonu üzerindeki önceki ürün ve toprak işleme faaliyetlerinden kaynaklanan yüzey altı kalıntıları nedeniyle toprak erozyonu üzerindeki etkiyi ifade eder (Renard vd. 1997). Orman ve diğer arazi kullanım sınıfları için 0 ile 1 arasında değişen PLU faktör değerleri verilmiştir.

PLU hesaplama, ürün ve toprak yönetimi uygulamalarından önce 4 inçte kök kütlesi ve yüzey kalıntısı gerektirir. PLU değerini hesaplamak için 4 inç derinlikten toprak örnekleri alınarak canlı ve ölü kök miktarları ile karışmış yüzey kalıntılarının toplam miktarı belirlenmiştir (Renard vd. 1997).

Her parsel için rastgele üç noktadan kök biyokütlesi ve kalıntı toprak örnekleri alınmıştır. Denklemde ölçülen biyokütle ve kalıntı miktarlarının ortalaması kullanılmıştır (Renard vd. 1997).

3.2.4.2. Tepe kapalılığı alt faktörü (CC)

Tepe Kapalılığı Alt Faktörü, toprak yüzeyinden yağışın aşındırıcı enerjisini azaltan bitki örtüsünün etkilerini ifade eder. Yağışın büyük bir kısmı tepe çatısındaki bitki örtüsünden hızı

azaldıktan sonra toprak yüzeyine ulaşır ve toprak yüzeyine çarpma enerjisinin çoğunu da kaybetmiş olur. Tepe Kapalılığı Alt Faktörünün hesaplanması için aşağıdaki eşitlik kullanılır;

$$CC = 1 - F_c \times \exp(-0,1 \times H) \quad (2)$$

Eşitlikte CC; 0 ila 1 arasında değişen tepe kapalılığı alt faktörüdür, F_c ; tepe kapalılığının kapladığı alan yüzdesidir. H; yağmur damlalarının tepe çatısına çarptıktan sonra düştüğü ağaç yüksekliğinin (m) ortalamasıdır (Renard vd. 1997).

F_c , kesişme ve yüzeyi ifade eden iki düzeyde ölçülür. Durdurma seviyesi ölçümleri, C1, C2 ve C3 parselleri için yükseklik değerleri metre cinsinden ölçülmüştür. Yüzey örtüsü ölçümleri, yukarıda C1, C2 ve C3 parselleri için tanımlanan quadrat yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. OT ve K parselleri sadece quadrat yöntemiyle ölçülen yüzey örtüsü ile tanımlanmış olup bu parsellerde tepe çatısı örtüsünün olmaması nedeniyle tepe kapalılığı ölçümü yapılmamıştır. Tüm F_c değerleri, ölçümlerin ortalaması olarak kullanılmıştır.

H değerleri, her parsel için tepe çatısı yüksekliklerinin başladığı yükseklik değerleri m cinsinden ölçülerek eşitlikte kullanılmıştır. Ölçümler, her bir C1, C2 ve C3 parseli için üst, orta ve alt olmak üzere üç konumda rastgele yapılmış ve hesaplama için denklemden ortalama değer kullanılmıştır.

3.2.4.3. Yüzey örtüsü alt faktörü (SC)

Yüzey örtüsü, yağış anında ve sonrasında suyun yüzeysel akışa geçişini ve sediment taşınımını engelleyen en önemli faktörlerdendir (Foster 1982). Ayrıca suyun infiltre olmasına etki ederek erozyonu azaltır ve yağmur damlasının vurma enerjisinin etkisini azaltır (Huang ve Laften, 1996). SC, SLR değerlerinin belirlenmesinde önemli faktörlerden biridir.

Yüzey örtüsü, yukarıda ifade edildiği gibi quadrat yöntemleri kullanılarak ölçülmüştür. Yüzey örtüsünün erozyon üzerindeki etkileri aşağıda verilen eşitlik (3) ile hesaplanır;

$$SC = \text{deneyim} [-b \times Sp \times (0,24/Ru)^{0,08}] \quad (3)$$

Eşitlikte: SC; yüzey örtüsü alt faktörüdür, b; ampirik katsayı, Sp; yüzey kaplama yüzdesi ve Ru; denklem (4) ile tanımlandığı gibi, parsel yüzeyinin pürüzlülüğüdür.

3.2.4.4. Yüzey pürüzlülüğü alt faktörü (SR)

Yüzey pürüzlülüğünün toprak erozyonu üzerinde doğrudan (Cogo vd., 1984) ve denklem (4)'ü amaçlayan bitki kalıntısı etkinliği nedeniyle dolaylı bir etkisi vardır. Yüzey rastgele

pürüzlülüğünün işlevi, alan eğimi veya gelişigüzel sürülmüş izler (sürüm karıkları, ve izleri gibi) nedeniyle değişen yüzey yüksekliğinin standart sapması olarak tanımlanır. Pürüzlü bir yüzey, yağış olayı sırasında erozyonu azaltan birçok içbükeylik ve doğal bariyer oluşturur (Renard vd. 1997).

Yüzey pürüzlülüğü alt faktörü (SR), denklem (4) kullanılarak hesaplanır;

$$SR = \text{deneyim} [-66 \times (Ru - 0,24)] \quad (4)$$

Bir çok arazi çalışmasından dolayı yüzey pürüzlülüğü (Ru) yüzey pürüzlülüğünün bazı kısımlarını etkiler ve Ru'dan dolayı mevcut toprak işlemeden hemen önceki yüzey pürüzlülüğü de son arazi işleme tarafından bozulmamış olan alanın bir kısmının pürüzlülüğüdür (Renard vd. 1997).

3.2.4.5. Toprak nemi alt faktörü (SM)

Mevcut toprak nemi, toprak erozyonuna neden olan infiltrasyon ve akış üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Renard vd. 1997). Toprak nemi, her parsel için dakika cinsinden 30 cm derinlikte Decagon Devices (Em5b) kullanılarak ölçülmüştür. 2014-2021 yılları arasında Çamkoru sahasında ve 2015-2021 yılları arasında Kayacı orman sahasında her parselde SM ölçümleri yapılmıştır.

Sahada nem verisi alımı, yüzey örtüsü ölçüldüğünde ve toprak işleme işlemleri tamamlandığında yapılmış ve parsellerin planlanan arazi kullanımına ulaşması sağlandıktan sonra elde edilen değerlerin eşitlikte kullanılabilirlik açısından optimuma ulaşması hedeflenmiştir. Toprak nemi değerleri aylık ortalama değerler olarak kullanılmış ancak ilkbahar aylarında yapılan diğer ölçümlerin yoğunlaştığı dönem dikkate alınarak her bir parsel için ortalama değerler dikkate alınmıştır.

3.2.5. İstatistiksel analiz

Her iki lokasyonda da uygulamalar arasında farklılık olup olmadığını belirlemek için doğrusal regresyon ve rassal ölçümleri de değerlendirecek Mixed Effect Model kullanılmıştır. Yüzey kapalılığı, yağış intensitesi ve toprak kaybı için model uygulanmıştır. Model R uygulamasında erozyonun bağımlı değişken alınarak diğer bağımsız değişkenlerden rassal olarak ne derecede etkilendiğini ve farklılıkların oluşup oluşmadığını değerlendirmek için çalıştırılmıştır (R Core Team, 2022). Rasgele yapılan sediment ölçümlerinin parsel odaklı gruplandırılması için kovaryans oluşturulmuştur (Littel vd., 2006).

Tepe kapalılığı bozulmamış C3, tepe çatı kapalılığı %45 olan C2, ve %75 olan C1 ve hiç işlem yapılmamış OT parselleri arasındaki farklar, tamamen sürülmüş K parseliyle farklılıklarının olup olmadığının kıyaslanması R yazılımında yapılmış (R Core Team, 2022), ek olarak RUSLE-C için SLR parametreleri arasındaki etkileşim ve farklılıklar belirlemek için de R yazılımında Linear Model kullanılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Deneme Yeri Yağış ve Toprak Verileri

Yağış verileri deneme alanlarında kurulu otomatik meteoroloji istasyonundan her altı aylık süreç için alınmıştır. Yağış verileri dakikalık veri olarak kullanılmış ve alınan her sediment örneği olduğu yağışla eşleştirilmiştir.



Fotoğraf 1. Erdemli (a) ve Çamlıdere (b) çalışma alanlarından yağış verilerinin alınması

Çizelge 4. Çamlıdere Ve Erdemli Çalışma Alanları 2015-2020 Su Yılları Yıllık Toplam Yağış Miktarları (mm)

Su Yılı	Toplam Yağış (mm)	
	Çamlıdere	Erdemli
2015	488,5	672,2
2016	276	196,2
2017	346,3	546
2018	570,8	676
2019	303,7	672,2
2020	213,1	451,3

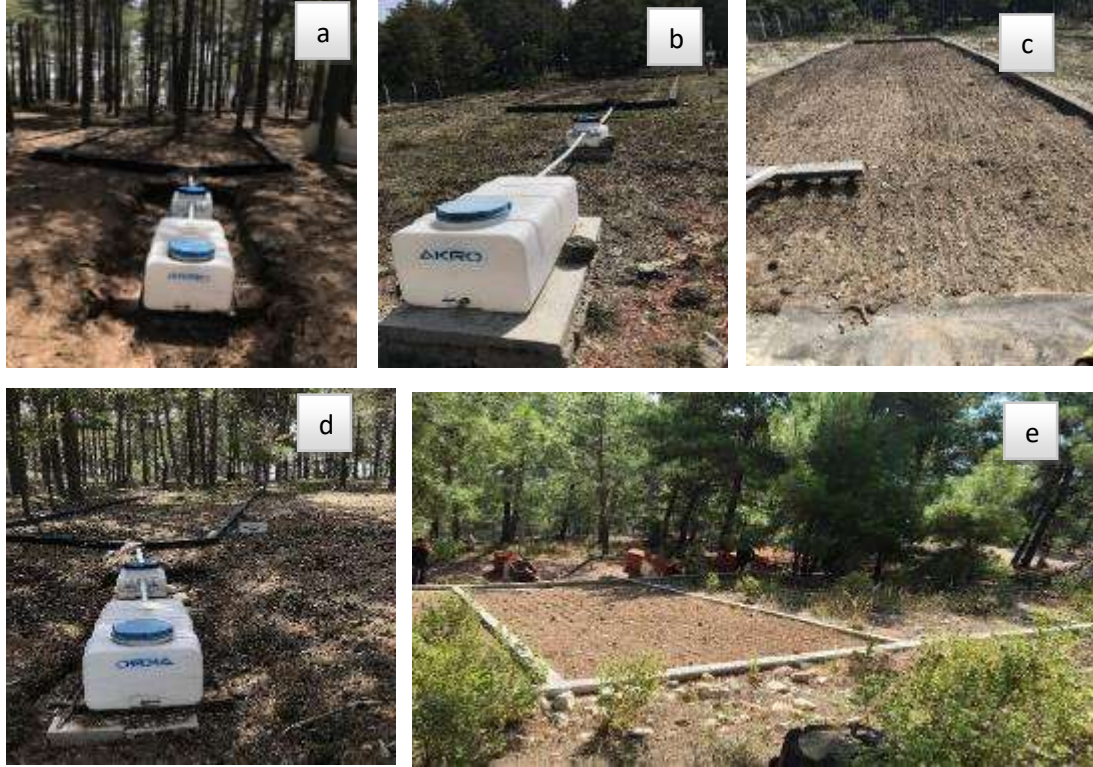
Çamlıdere ve Erdemli çalışma alanlarından orman ve mera alanlarından toprak örnekleri alınmış ve yapılan analizler Çizelge 5 ve 6’da verilmiştir.

Çizelge 5. Çamlıdere Çalışma Alanı Orman ve Mera Toprak Analizi Değerleri

Derinlik (cm)	Mekanik Analiz			Bünye	Saturasyon (%)	Hidrolik İletkenlik (cm/h)	Tarla Kapasitesi (%)	Solma Noktası (%)	Organik Madde (%)
	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)						
Orman Örtüsü Alanı									
0-30	70,5	14,9	14,6	SL	78	9,59	18,19	10,1	2,96
30-60	73,6	15,5	10,9	SL	57	8,5	19,17	10,63	0,66
Mera Alanı									
0-30	16	27,3	56,7	C	57	0,05	42,24	24,17	1,62
30-60	72,8	15,7	11,5	SL	57	7,84	20,6	11,38	2,12

Çizelge 6. Erdemli Çalışma Alanı Orman ve Mera Toprak Analizi Değerleri

Parsel Adı	% Saturasyon	pH	EC (dS/m)	% Kireç	% O.M.	P2O5 (kg/da)	% Kil	% Silt	% Kum	Bünye
C3	80.3	7.4	0.816	45.40	10.72	5.6	17.1	23.1	59.8	Kumlu-tın
C2	71.5	7.46	0.777	36.06	8.61	5.8	14.7	31.2	54.1	Kumlu-tın
CK	52.8	7.51	1.281	35.89	5.75	5.1	15.2	25.8	59.0	Kumlu-tın
OT	53.9	7.35	0.94	53.27	4.45	4.3	12.3	28.6	59.0	Kumlu-tın
C1	55	7.52	0.598	70.15	4.97	3.6	16.6	32.9	50.6	Tın



Fotoğraf 2. Çamlıdere çalışma alanı; C1 (a), C3 (d), OT (b) parselleri ve yeni sürümü gerçekleştirilmiş K (c) parseli ile Erdemli çalışma alanı; K, OT ve C1 parsellerinin soldan sağa görünümü (e)

4.2. RUSLE-C Faktörü

Çamlıdere (Çamkoru) çalışma alanında 2015, 2016, 2019, 2020 ve 2021 yıllarını kapsayacak şekilde düzenli erozyon, nem ve yağış verisi akışı sağlanmış ve analizler yorumlanarak raporlanmıştır. Erdemli (Kayacı) sahasında ise 2017 ve 2020 su yılları arasında yaşanan teknik aksaklıklar ve personel eksikliğinden kaynaklı veri alımında sıkıntılar yaşanmıştır ancak 2021 su yılı için tüm sediment verileri eksiksiz olarak alınmıştır.

Her iki çalışma alanında da projede 2019 yılından sonra USLE-C metodundan RUSLE-C metoduna geçilmesinden dolayı; yüzey kapallılığı, tepe çatısı kapallılığı, biomass ve ağaç

yükseklikleri de 2019-2021 yılları arasında ölçülmüş ve düzenli veri alımı sağlanmıştır bu kapsamda RUSLE-C katsayıları her bir parsel için hesaplanmıştır. RUSLE-C katsayısının hesaplanmasında alt parametrelerden olan yüzey pürüzlülüğü Renard vd. (1997) el kitabı yayınında bulunan pürüzlülük tablosundan katsayılar alınarak hesaplanmıştır.

RUSLE-C faktörü her bir parsel için ayrı olarak ortalama ölçümlerle hesaplanmıştır. İlk olarak Ortalama Toprak Kaybı (SLR) hesaplanmıştır.

$$\text{SLR} = \text{PLU} \cdot \text{CC} \cdot \text{SC} \cdot \text{SR} \cdot \text{SM}$$

PLU: Arazi Kullanım Durumu Alt Faktörü

CC: Tepe Kapalılığı Alt Faktörü

SC: Yüzey Kapalılığı Alt Faktörü

SR: Yüzey Pürüzlülüğü Alt Faktörü

SM: Toprak Nemi Alt Faktörü

PLU: Arazi Kullanım Durumu Alt Faktörü

$$\text{PLU} = C_f \cdot C_b \cdot \text{Exp} [(-C_{ur} \cdot B_{ur}) + (C_{us} \cdot B_{us} / C_f^{C_{uf}})]$$

C_f = Toprak Sağlama Faktörü

C_b = Yüzey Örtüsü Sağlama Faktörü

C_{ur} = Yüzey Örtüsüne Etki Eden Kalibrasyon Katsayısı

B_{ur} = Yüzeydeki Kök Kütlesi Yoğunluğu ($I_b \cdot \text{acre}^{-1} \cdot \text{in}^{-1}$)

C_{us} = Yüzey Örtüsüne Etki Eden Kalibrasyon Katsayısı

B_{us} = Yüzeydeki kalıntı Kütlesi Yoğunluğu ($I_b \cdot \text{acre}^{-1} \cdot \text{in}^{-1}$)

C_{uf} = Yüzey Örtüsü ile Toprak Bütünleşme Etki Katsayısı

PLU değeri 0 ile 1 Aralığında Değişkenlik Göstermektedir.



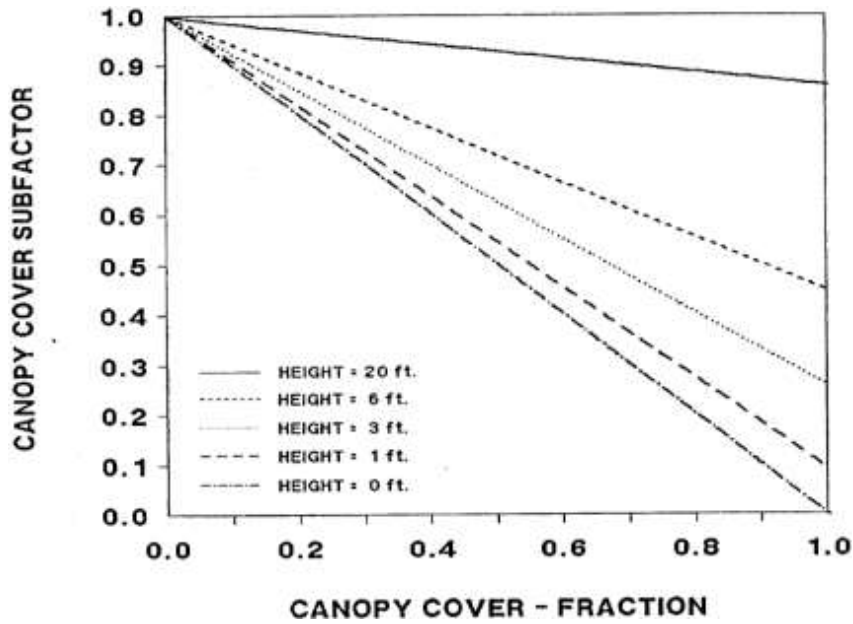
Fotoğraf 3. Çamlıdere çalışma alanında biomass ölçümleri (a) ve Erdemli çalışma alanından sürüm işlemi sonrası K parseli (b)

CC: Tepe Çatısı Kapalılığı Alt Faktörü

$$CC=1-F_c*Exp(-0.1*H)$$

F_c = Tepe Çatısının Yüzeyi Örtme Oranı Katsayısı (%)

H = Yağmur Damlasının Tepe Kapalılığından Düştüğü Yükseklik (ft)



Şekil 4. Ağaç tepe çatısının yüksekliğinin tepe kapalılığı değerine etkisi

SC : Yüzey Kapalılığı Alt Faktörü

$$SC = \text{Exp}[-b * S_p * (0.24/R_u)^{0.08}]$$

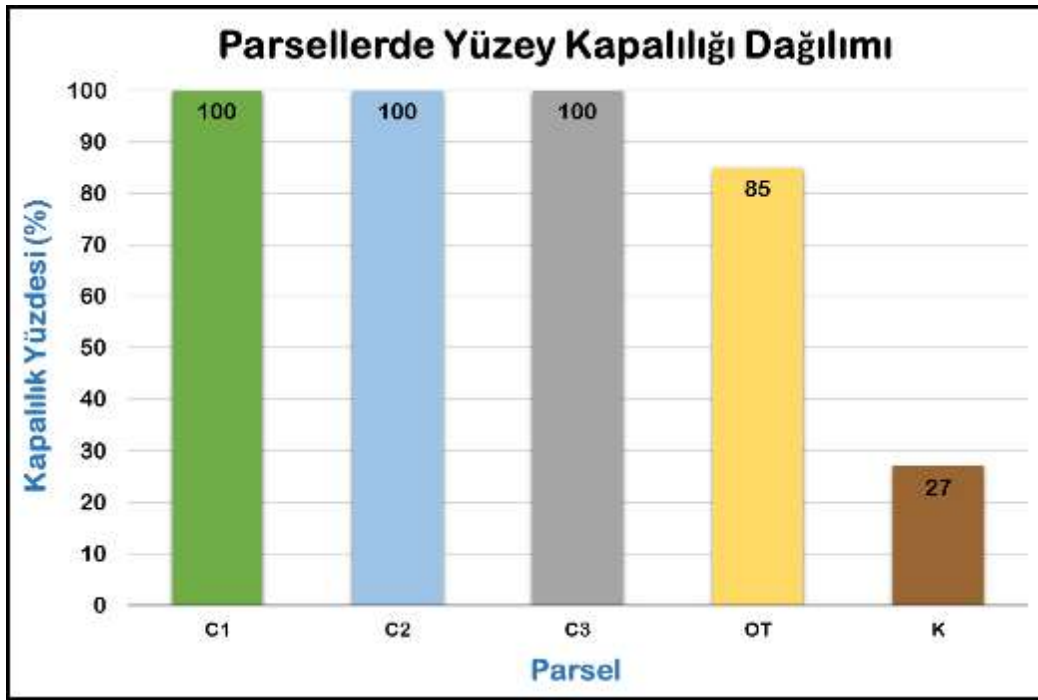
$$S_p = [1 - \text{Exp}(-\alpha * B_s)] * 100$$

b= Ampirik Katsayı

S_p= Yüzey Kapalılık Yüzdesi (%)

R_u= Yüzey Pürüzlülüğü

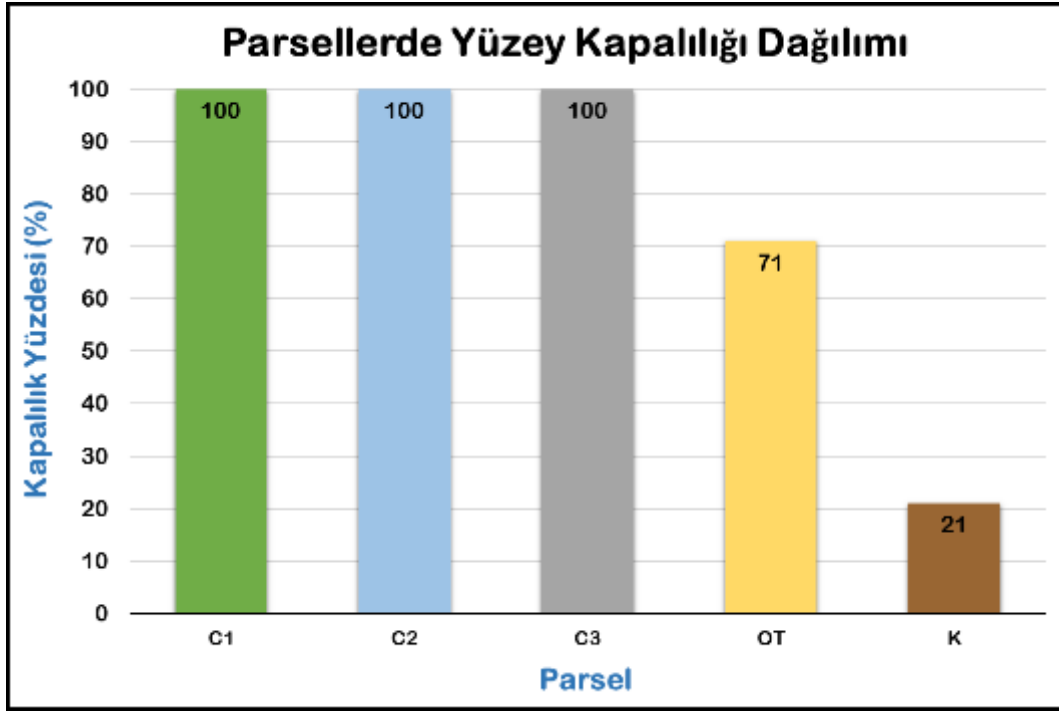
Çamlıdere deneme alanında parsellerde oluşan yüzey örtüsü kapalılığı yüzdesi Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. 2019-2021 yılları arası ortalama mevsimsel yüzey örtüsü kapalılığı (Çamlıdere)

- Yüzey örtüsü kapalılık ölçümleri 2019, 2020 ve 2021 su yıllarını kapsayacak şekilde mevsimsel olarak kare örneklem yöntemiyle ölçülmüştür.
- Yüzeysel kapalılık beş (ölü örtü, vejetasyon, kabuk ve dal artıkları, çakıl ve kayalıklar ve çıplak toprak) sınıfa ayrılarak yapılmış ve orman parsellerinde (C1, C2 ve C3) ortalama kapalılık %100 olarak ölçülmüştür.
- En az kapalılık (%27) K parselinde ölçülmüş ve kapalılık çakıl ve kayalar tarafından oluşturulmuştur.
- OT ve K parsellerinde kapalılık mevsimsel olarak az da olsa değişim göstermiştir.

Erdemli deneme alanında parsellerde oluşan yüzey örtüsü kapalılığı yüzdesi Şekil 6’da gösterilmektedir.



Şekil 6. 2019-2021 yılları arası ortalama mevsimsel yüzey örtüsü kapalılığı (Erdemli)

- Çamlıdere alanında olduğu gibi yüzey örtüsü kapalılık ölçümleri 2019, 2020 ve 2021 su yıllarını kapsayacak şekilde mevsimsel olarak kare örneklem yöntemiyle ölçülmüştür.
- Yüzeysel kapalılık beş (ölü örtü, vejetasyon, kabuk ve dal artıkları, çakıl ve kayalıklar ve çıplak toprak) sınıfa ayrılarak yapılmış ve orman parsellerinde (C1, C2 ve C3) ortalama kapalılık %100 olarak ölçülmüştür.
- En az kapalılık (%21) K parselinde ölçülmüş ve kapalılık çakıl ve kayalar tarafından oluşturulmuştur.
- OT ve K parsellerinde kapalılık mevsimsel olarak az da olsa değişim göstermiştir.



Fotoğraf 2. Erdemli çalışma alanında C1 parselinin yüzey kapalılık ölçümü

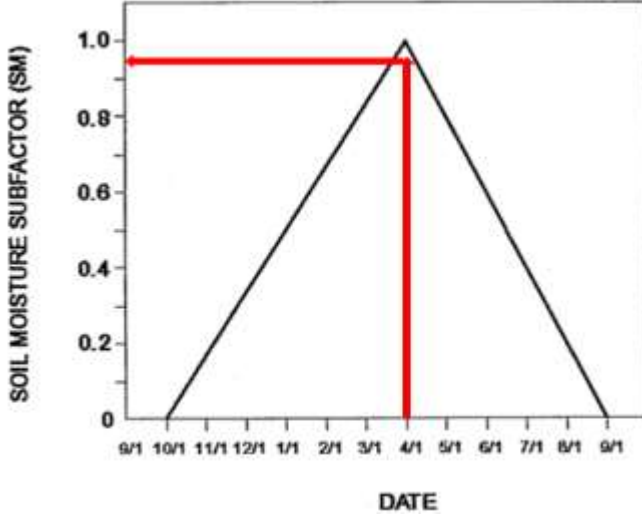
SR: Yüzey Pürüzlülüğü Alt Faktörü

$$SR = \text{Exp}[-66 \cdot (R_u - 0.24)]$$

$$R_u = \text{Yüzey Pürüzlülüğü}$$

SM: Toprak Nemi Alt Faktörü

Toprak nemi değeri diğer ölçümlerin yoğunlaştığı nisan ayı değeri alınarak hesaplanmıştır (Şekil 7). Nisan ayı değeri, yağışların ve kar erimelerinin başladığı ve toprağın maksimum doygunluğa ulaştığı ay olduğu için kullanılmıştır. Nem verileri her ay elde edilebilmektedir ancak diğer ölçümlerinde nem değerlerinin ölçüldüğü zaman aralığında elde edilmesi gerektiğinden nem değeri diğer ölçümlerin (biomas, yüzey kapalılığı ve sürümler gibi) yoğunlaştığı dönem olan ilk bahar ayları referans alınarak kullanılmıştır. Hesaplanan C değerlerinin güncellenmesi yeni ölçümlerin yapılması ve nem değerlerinin aylık olarak kullanılmasıyla sağlanabilmektedir.



Şekil 7. Nisan ayı için toprak nemi alt faktör değeri

RUSLE-C: Arazi Örtüsü ve Kullanım Çarpanı

$$C = (SLR_1.EI_1 + SLR_2.EI_2 + \dots + SLR_n.EI_n) / EI_t$$

SLR: Toprak Kaybı Ortalaması

EI: Yıllık R Yüzdesi

EI_t: Toplam R Yüzdesi

RUSLE-C değerleri hesaplanmış ve Çamlıdere deneme alanında C3 için 0,0001024, C2 için 0,0001082 ve C1 için ise 0,0001142 olarak belirlenmiştir (Çizelge 7). Yüzey ve tepe kapalılığının yüksek olduğu parsellerde C değerleri birbirine yakın olarak hesaplanmıştır. C1 parselinde hesaplanan C değeri diğer parsellere oranla 0,00001 oranında büyüktür ancak hesaplanan bu büyüklük erozyon miktarında istatistiki olarak fark oluşturmamıştır.

Çizelge 7. Çamlıdere Deneme Alanındaki Her Bir Parsel İçin Hesaplanan RUSLE-C Katsayısı Değerleri

PARSEL	RUSLE-C KATSAYISI
1 KAPALI (C1)	0,0001142
2 KAPALI (C2)	0,0001082
3 KAPALI (C3)	0,0001024
ORMAN TOPRAĞI (OT)	0,0024
İŞLENMİŞ PARSEL (K)	0,087

Erdemli deneme alanından elde edilen C değerleri ise çok yakın değerler olarak hesaplanmıştır. Erdemli deneme alanında C3 değeri 0,0001074, C2 değeri 0,0001092 ve C1 değeri ise 0,0001259 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 8).

Çizelge 8. Erdemli Deneme Alanındaki Her Bir Parsel İçin Hesaplanan RUSLE-C Katsayısı Değerleri

PARSEL	RUSLE-C KATSAYISI
1 KAPALI (C1)	0,0001259
2 KAPALI (C2)	0,0001092
3 KAPALI (C3)	0,0001074
ORMAN TOPRAĞI (OT)	0,0056
İŞLENMİŞ PARSEL (K)	0,0914

Çizelge 8'e göre C3 ve C2 değerleri farklılık göstermemiş ve parsellerde oluşan erozyon değerleri de benzer miktarlarda oluşmuştur. Çamlıdere deneme alanında olduğu gibi ölçülen erozyon miktarları organik madde ağırlıklı ve bitki kalıntılarının yoğunlu gözlenmiştir. C1 parselinde ise hem vejetasyonun farklılığı hem de ağaç boyları değerlendirildiğinde yüzey kapallığı genellikle yeşil vejetasyonu oluşturan kısa otlardan oluşmuştur ve tepe çatı açıklığı dağılımı homojen değildir. Erdemli deneme alanındaki C1 parselinde kapallık genellikle kayalıklar tarafından oluşturulmuştur. Ayrıca Erdemlideki C1 parselinde hesaplanan C değerinin daha büyük olduğu ancak kapallılığa bağlı olarak erozyona etkisinin istatistiki açıdan Çamlıdere'deki C1 parseliyle benzerlik gösterdiği gözlenmiştir.

2018 yılında Türkiye Su Erozyonu Haritasında Kullanılan RUSLE-C değerleri Çizelge 9'da verilmiştir ancak yapılan bu çalışmada OT parselinin homojen yapıya sahip olmasından dolayı tek C değeri belirlenmiştir.

Çizelge 9. 2018 Yılında Türkiye Su Erozyonu Haritasının Yapımında Kullanılan RUSLE-C Değerleri (Panagos vd., 2015b). OT alanları için "Türkiye Su Erozyonu Haritası" oluşturulurken aralık belirlenmiş ve kapallılık yoğunluğuna bağlı olarak C değeri değişim göstermiştir.

PARSEL	RUSLE-C KATSAYISI
1 KAPALI (C1)	0,003
2 KAPALI (C2)	0,002
3 KAPALI (C3)	0,0001
ORMAN TOPRAĞI (OT)	0,05-0,15
İŞLENMİŞ PARSEL (K)	0,2

Çamlıdere ve Erdemli deneme alanlarındaki tür farklılıkları, farklı iklim koşulları ve yağış bakımından yüzey kapalılığında değişiklikler ortaya koymuştur. Bu nedenle Erdemli deneme alanındaki parsellerde oluşan yüzey ve tepe kapalılığı daha yoğun ve suyun akış enerjisini azaltacak durumdadır ancak kapalılık infiltrasyonla doğrudan ilişkili olması dolayısıyla erozyon miktarlarında oluşabilecek farklılıklara etki etmemiştir.

C1, C2 ve C3 kapalılığın etkisi ve infiltrasyona sağladığı olumlu etkiyle parseller her iki alanda da erozyon olarak birbirine yakın değerler ortaya koymuş ve oluşan erozyonun da yoğunluğunun bitki artıklarının etkisiyle meydana geldiği görülmüştür. Aynı şekilde iki deneme alanında da yüzeysel akış miktarları da çok düşük olarak oluşmuş ve oluşan yüzeysel akış miktarları değer olarak eşdeğerlerine benzerlikler göstermiştir. Deneme alanlarında bulunan farklı ibrelili türler hesaplanan C değerlerine ve erozyon miktarlarına, oluşturdukları kapalılığın etkisi nedeniyle ve her iki alanda da parsellerdeki kapalılık dağılımının eşdeğer parseliyle benzer olmasından dolayı istatistiki açıdan etki edecek farklılıklar oluşturmamışlardır.

Çamlıdere deneme alanında OT parseli için C değeri 0,0024, K parseli için ise 0,087 olarak hesaplanmıştır. K parselinden elde edilen C değeri C1, C2 ve C3 parsellerine ait ortalama C değerinden yaklaşık 804 kat büyük, OT parselinden ise 36,25 kat büyük olarak hesaplanmıştır.

Erdemli deneme alanında OT parseli için C değeri 0,0056, K parseli için ise 0,0914 olarak hesaplanmıştır. K parselinden elde edilen C değeri C1, C2 ve C3 parsellerinden elde edilen ortalama C değerinden 801 kat büyük, OT parselinden ise 16 kat büyük olarak hesaplanmıştır.

K parselindeki yüzey ortalama kapalılık oranı Çamlıdere için %27, Erdemli için ise %21 olarak ölçülmüştür. Bu değerler mevsimsel olarak farklılıklar göstermekte ve kapalılıkta artışlar vejetasyon döneminin başlaması ile artmakta ve parselde yapılan sürüm sonrası ölçümler alınmaktadır. Sürüm sonrası yapılan ölçümlerin değerlendirilmesi sonucu elde edilen kapalılığın müdahale sonucu genelde çakıl ve kaya parçalarından oluştuğu değerlendirilmiştir. Toprak yüzeyinde duran herhangi bir maddenin (ölü örtü, vejetasyon, dal parçaları, kayalar, çakıl parçaları ve kabuk gibi) yağış anında suyun çarpmasını azaltıcı etkisi ve yüzeysel akışa geçmesinde bariyer oluşturarak engel oluşturması açısından erozyonun önlenmesinde önemli bir role sahiptir. K parselinde C değerinin büyük olmasının temel sebebi tepe kapalılığının olmaması, köklenmenin olmaması ve yüzey kapalılığının çok düşük olmasıdır.

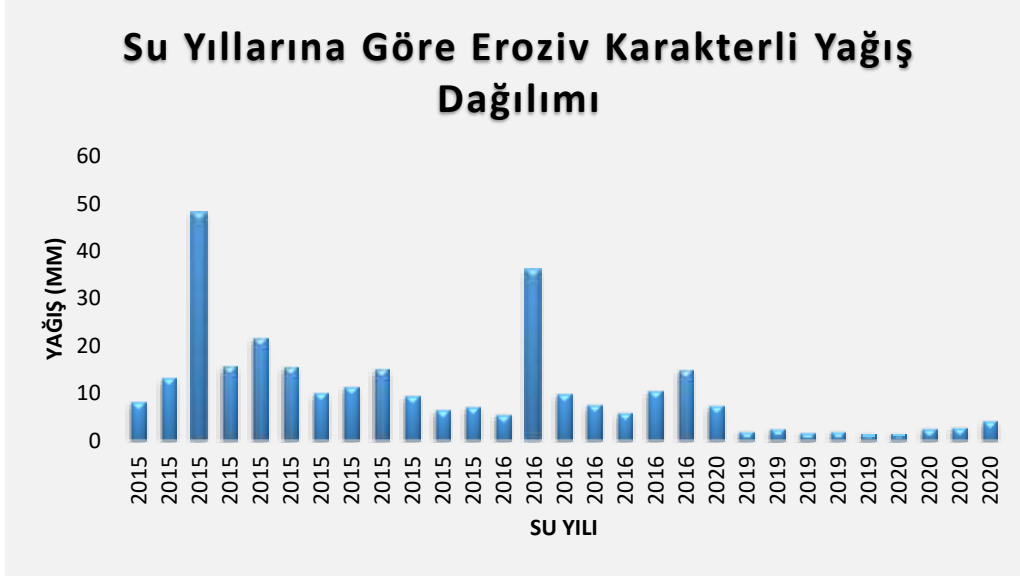
OT parselindeki ortalama yüzey kapalılığı Çamlıdere için %85 Erdemli için ise %71 olarak ölçülmüştür. İki deneme alanı arasında ortalama kapalılık oranlarında oluşan farklılıklar genel

olarak arazi yapısı ve iklimsel faktörlere bağlı olarak çeşitlilik göstermiştir. Erdemli deneme alanında kapalılık OT parseli için genelde kayalardan ve vejetasyon kalıntılarında oluşmuştur. Son ölçüm yılı olan 2021 yılı sediment ölçümleri istatistiki açıdan Çamlıdere ve Erdemli için K ve OT parsellerinde farklılıklar ortaya çıkarmıştır. Farklılıkların oluşmasının sebebi K parselinde yapılan sürümlerde toprak derinliğinin ve erozif karakterinin yüksek olması ayrıca iklimsel farklılıkların getirdiği nem değişimleri de farklılıkların oluşmasına katkıda bulunmuştur. Taye vd. 2017 de eğimli alanlarda RUSLE C değerinin meralarda 0,23 ile 0,82 aralığında değiştiğini belirlemiş ve meralardaki bu değişkenliğin nedeninin otlatmanın neden olduğu örtü değişiklikleri ile açıklamıştır.

4.3. Deneme Alanlarında Erozyon Durumu

Çamlıdere (Çamkoru) çalışma alanında 2015, 2016, 2019, 2020 ve 2021 yıllarını kapsayacak şekilde (2017 ve 2018 veri eksik) düzenli erozyon, nem ve yağış verisi akışı sağlanmış ve analizler yorumlanarak raporlanmıştır. Çamlıdere deneme alanında söz konusu su yılları içerisinde toplamda 42 adet eroziv karakterli yağış meydana gelmiştir. Bu yağışların en yoğun olduğu yıl ise 13 eroziv karakterli yağışla 2021 olmuştur. Diğer su yıllarında ise 2015'te 12, 2016'da 7, 2019 ve 2020'de ise 5'er adet eroziv karakterli yağış meydana gelmiştir. Veri alımı yapılan yıllar arasında ekstrem yağışların fazla olduğu yıl 2015 olmuştur. 2016 su yılında ise bir adet ekstrem yağış meydana gelmiştir. Diğer 2019 ve 2020 su yılları ise nispeten kurak ve oluşan yağışların miktarı düşük ve birbirine yakın şekilde gerçekleşmiştir (Şekil 8).

2019 ve 2020 su yıllarında yağış miktarlarında düşüşler olmuştur ancak bu yağışlar yüksek intensiteleri dolayısıyla yüzeysel akışa neden olarak sediment oluşturmuştur. Yağış verileri değerlendirildiğinde erozyona sebep olan intensitelerin farklılıklar gösterdiği bunun sebebinin ise kar erimelerini takip eden nisan ve haziran ayları aralığında gerçekleşmesi ve doymun toprağın yüzeysel akışı desteklemesiyle erozyon artışını tetiklemesidir. Ayrıca aynı zaman aralığında ölçülen sediment miktarları olduğu yağışlarla eşleştirildiğinde, yağış miktarlarının çok düşük olmasına rağmen yüzeysel akışa neden olduğu ve erozyon oluşturduğu belirlenmiştir. Brooks vd. 1994b de iğne yapraklı ormanlarda yaptıkları çalışmada en fazla sediment veriminin kar erimesi sonrası meydana gelen yağışlar sonucu oluştuğunu bulmuştur.



Şekil 8. 2015-2020 su yılları arası erozyona sebep olan yağış toplamları dağılımı.

Çamlıdere deneme alanında elde edilen erozyon verileri genellikle ilkbahar ve son bahar aylarında toplanmış, kış aylarında ise yağışların genelde kar olarak meydana gelmesi ve don olaylarının fazla olması sebebiyle veri alınamamıştır. Çalışmanın yürütüldüğü yıllar içerisinde düzenli verilerin alınabildiği yıllar bazında toprak kaybı için değerlendirmeler yapılmış ve Çizelge 10'da verilmiştir.

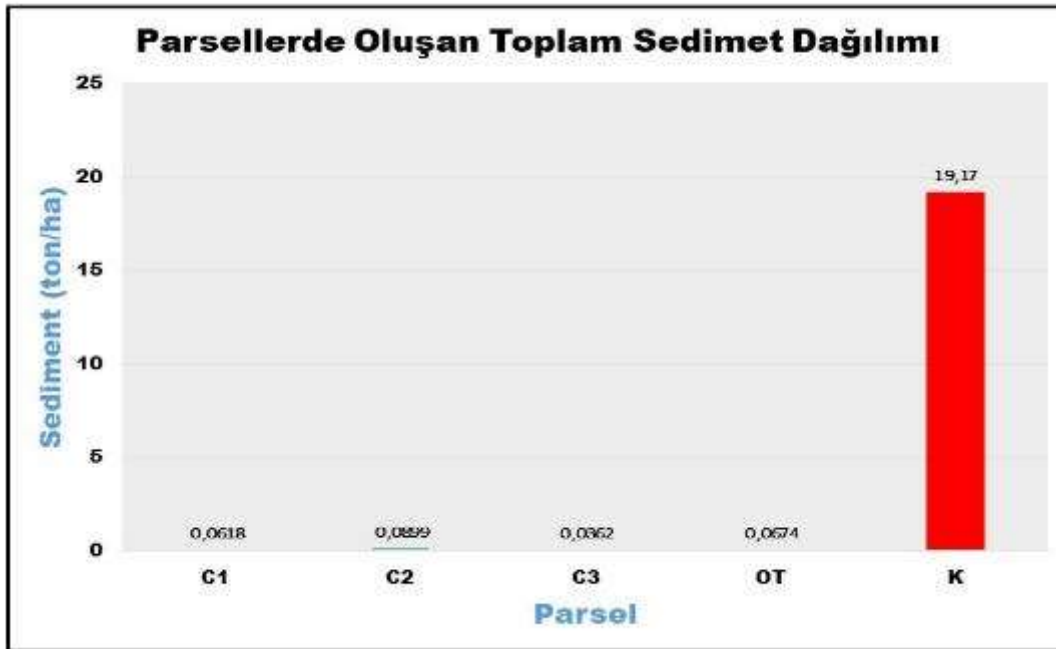
Çizelge 10. Yıllara Göre Çamlıdere'de Bulunan Parsellerin Erozyon Dağılımı (ton/ha/yıl)

Parsel Adı	2015	2016	2019	2020	2021
1 Kapalı (C1)	0,047	0,0043	0,0034	0,0030	0,0041
2 Kapalı (C2)	0,064	0,0057	0,0097	0,0056	0,0049
3 Kapalı (C3)	0,021	0,0025	0,0022	0,0076	0,0029
Orman Toprağı (OT)	0,043	0,008	0,008	0,0021	0,0063
İşlenmiş Parsel (K)	2,22	9,15	4,86	0,2	2,74

Çamlıdere deneme alanında beklenildiği üzere en fazla sediment verimi K parselinde oluşmuştur (Şekil 9). Diğer parsellerde ise sediment verimi sırasıyla OT, C2, C1 ve C3 olarak gerçekleşmiştir. K parseli, ölçüm yapılan 2015, 2016, 2019, 2020 ve 2021 su yıllarında toplamda 19,17 ton/ha erozyon oluşturmuştur. Diğer parsellerde ise erozyon miktarları sırasıyla; OT parselinde 0,0674 ton/ha, C1 parselinde 0,0618 ton/ha, C2 parselinde 0,0899 ton/ha ve C3 parselinde ise 0,0362 ton/ha olarak gerçekleşmiştir. K parseli C1 parselinden 310 kat, C2 parselinden 213 kat, ve C3 parselinden ise 529 kat fazla sediment oluşturmuştur. Diğer

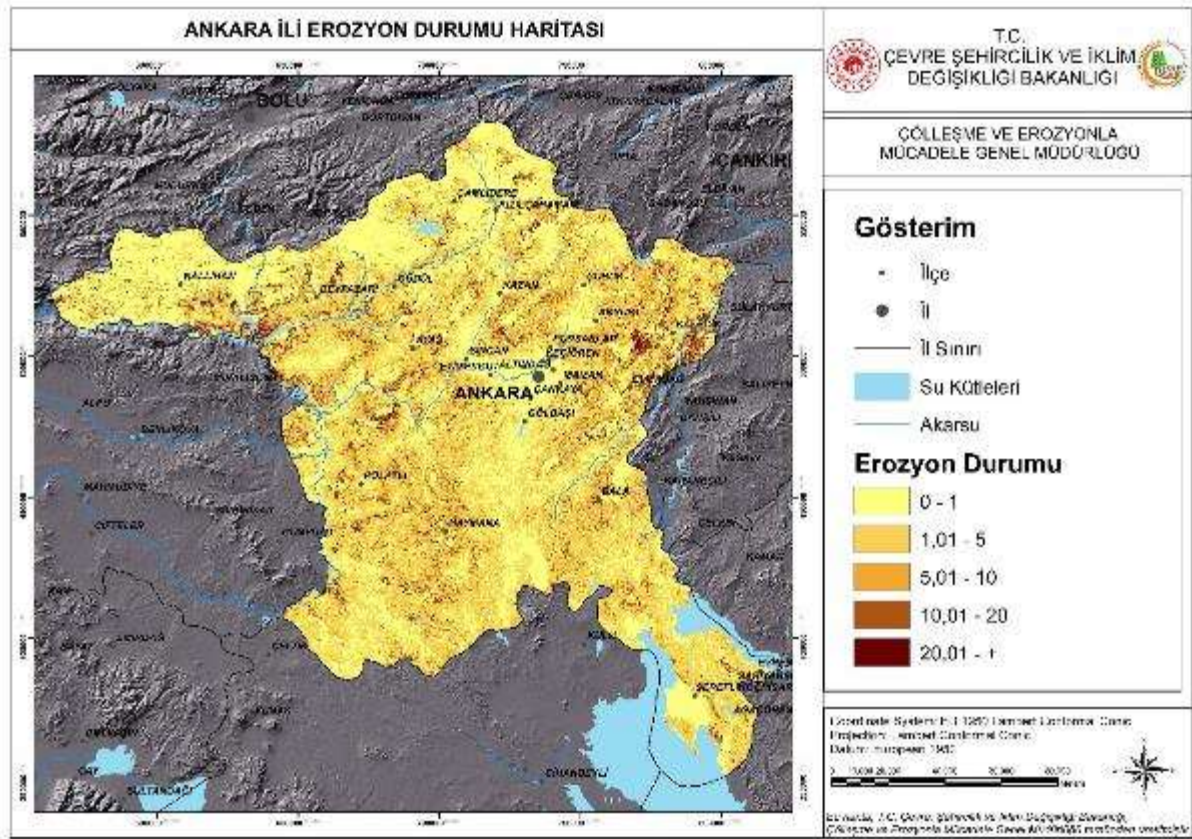
taftan OT parselinde ise K parselinden 284 kat daha az miktarda sediment taşınımı meydana gelmiştir.

OT parselinde meydana gelen erozyonun diğer C1, C2 ve C3 parsellerine yakın olmasının sebebi yüzey kapallılığıyla doğrudan ilişkilidir ($p<0.05$). Çamlıdere deneme alanı için OT parselinde ölçülen % 15 seviyesindeki açıklık parselde homojen dağılım gösterdiği ve kapallılığın olduğu alanlarda suyun yüzeysel akışa geçişi gerçekleşmediğinden sediment miktarı diğer parsellere çok yakın olarak ölçülmüştür. Bu sonuç doğrultusunda erozyona etki eden temel etkenin yüzeysel örtü kapallılığı olduğu model çalışması sonucunda da ortaya konulmuştur. Benze şekilde Jayasuriya vd., 1993'te orman alanlarında yaptığı çalışmada yüzey örtüsünün %50 azalması ile yüzey akışın %25-30 oranında arttığını bulmuşlardır.



Şekil 9. 2015, 2016, 2019, 2020 ve 2021 Yılları arasında ölçülen erozyon miktarı (ton/ha/yıl) (Çamlıdere) (2017 ve 2018 yıllarında sahada oluşan veri ölçüm arızası ve veri alımında yaşanan sorunlar nedeniyle değerlendirme yapılamamıştır)

K parselinde meydana gelen erozyon miktarı istatistiki olarak değerlendirildiğinde model sonuçlarına göre diğer parsellerden önemli derecede farklılıklar göstermiştir ($p<0.05$) ve bunun temel nedeni ise eğim durumu sabit tutulduğunda yüzey örtü kapallılığı olarak ortaya çıkmaktadır. Diğer parseller C1, C2, C3 ve OT'de oluşan erozyon miktarları birbirlerine yakın olarak hesaplanmış ve istatistiki olarak farklılıklar da ortaya çıkarmıştır ($p<0.05$). OT parselinde C3 parseline oranla yaklaşık 2 kat fazla erozyon oluşmuş ve istatistiki fark oluşturmuştur ($p<0.05$).



Şekil 5. Ankara İli Su Erzoyonu Durumu Haritası [Harita] (Demirhan, 2023)

Erdemli deneme alanında 2015, 2016, 2019 ve 2020 su yılları aralığında verilerde meydana gelen eksiklik ve tutarsızlıkların oluşması sebebiyle sağlıklı veri akışı olmamıştır ancak 2015 ve 2016 su yıllarında USLE C değerinin hesaplanması amacıyla alınan verilerin RUSLE-C değeri için uyarlanması sağlanacak, eksik verilerin (2017, 2018, 2019 ve 2020 su yılları için) de tahmin fonksiyonu kullanılarak var olan değerler aralığında belirlenmesi sağlanacaktır.

Erdemli deneme alanında 2021 su yılında tüm sediment verileri eksiksiz olarak alınmış ve ilişkili yağışlarla eşleştirilmiştir. Çizelge 11’de görüldüğü üzere Erdemli deneme alanında toplamda 7 adet eroziv karakterli yağış oluşmuştur ve bu yağışların tamamı kış aylarında meydana gelmiştir. Erdemli deneme alanı, Çamlıdere deneme alanına oranla kış aylarında daha yüksek sediment verimi sağlamıştır. Bunun sebebi ise don olaylarının az olması veya olmayışı ve yağış rejimindeki farklılıklar kış aylarında sediment oluşumunu etkilememiştir.

Çizelge 11. Erdemli (Kayacı) Alanı İçin 2021 Su Yılı Erozyon Verileri (ton/ha/yıl)

Tarih	Parseller				
	C1	C2	C3	OT	K
25.12.2020	0,021	0,029	0,004	0,158	3,643
14.01.2021	0,003	0,032	0,003	0,017	1,083
20.01.2021	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002
1.02.2021	0,001	0,001	0,001	0,019	0,244
4.03.2021	0,000	0,000	0,000	0,001	0,008
18.03.2021	0,001	0,000	0,001	0,001	0,004
31.03.2021	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001
TOPLAM	0,027	0,0622	0,011	0,1976	4,9851

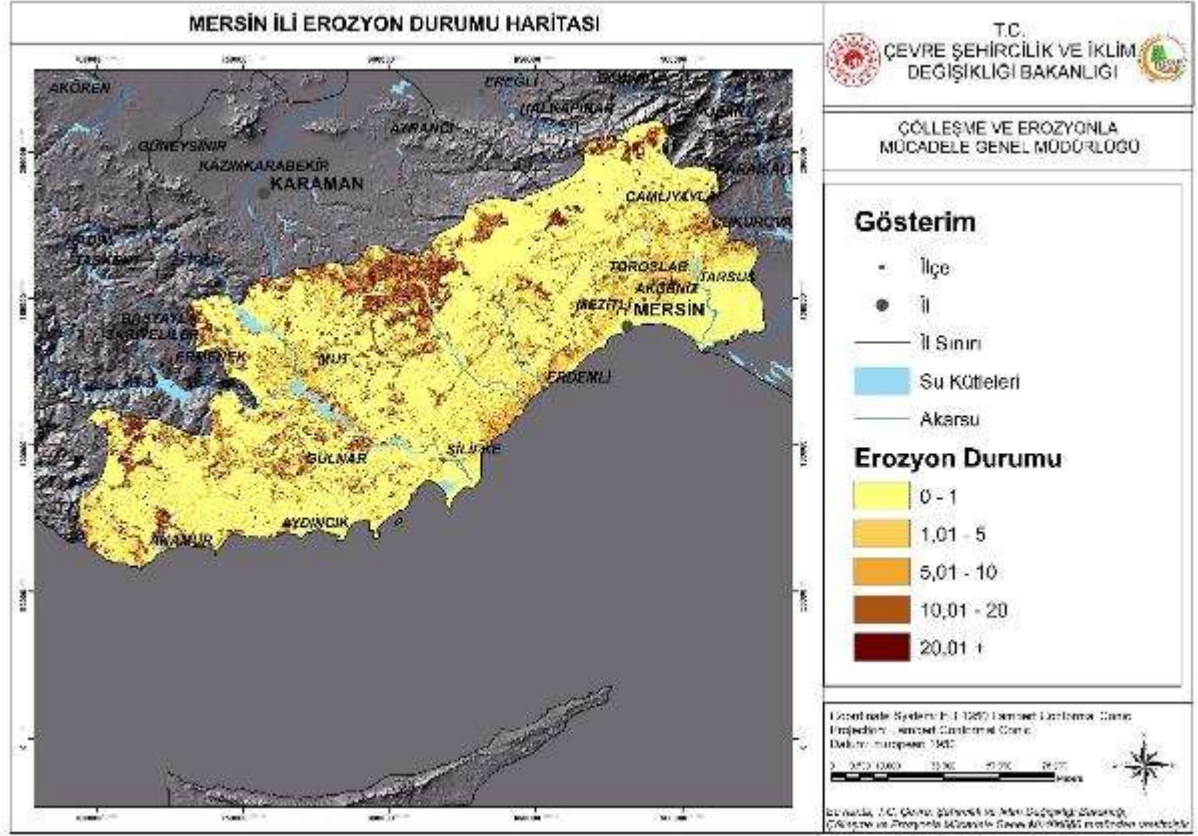
Erdemli ve Çamlıdere deneme alanlarında meydana gelen erozyon miktarı 2021 su yılı için kıyaslandığında Erdemli deneme alanı her bir parselde daha yüksek sediment olduğu görülmüştür. Erdemli deneme alanındaki K parseli Çamlıdere'deki K parseline oranla 2021 su yılında yaklaşık 2 kat fazla sediment oluşturarak istatistiki farklılık oluşturmuştur ($p<0.05$). Ayrıca Erdemli deneme alanındaki K parseli diğer parsellere oranla sırasıyla C1 parselinden 185 kat, C2 parselinden 80 kat, C3 parselinden 545 kat ve OT parselinden ise 25 kat fazla sediment oluşturmuştur ($p<0.05$). Diğer C1, C2, C3 ve OT parselleri ise istatistiki açıdan farklılık oluşturacak sediment oluşumunu sağlamıştır ($p<0.05$).

Her iki deneme alanı 2021 su yılında oluşan sediment miktarı açısından karşılaştırıldığında deneme alanlarındaki parseller kendi eşdeğer parseliyle istatistiki açıdan farklılıklar ortaya koymuştur. Erdemli deneme alanındaki C1, C2 ve C3 parselleri Çamlıdere'deki C1, C2 ve C3 parselleriyle karşılaştırıldığında ortalama 8,5 kat daha fazla sediment sağlamıştır. Erdemli deneme alanındaki OT parseli ise 2021 su yılında Çamlıdere'deki OT parselinden 31.4 kat daha fazla sediment oluşturarak istatistiki açıdan farklılık oluşturmuştur ($p<0.05$).

OT parseli beklenildiği üzere diğer C1, C2 ve C3 parsellerinden istatistiki açıdan farklılık oluşturmuş ve fazla erozyon meydana gelmiştir. Ancak Çamlıdere deneme alanında veri alınan yıllarda OT parselinde büyük farklılıklar oluşturmamıştır. Erdemli deneme alanındaki OT parselinde meydana gelen beklenti üstü sediment miktarı yüzeysel kapalılığın bu parselde eşleniğine göre düşük olması, iklimsel farklılık, yağış intensitesi ve eğim kaynaklı olduğu belirlenmiştir.

Erdemli deneme alanındaki K parseli de OT parselinde olduğu gibi Çamlıdere deneme alanındaki K parselinden 2021 su yılı için yüksek miktarda sediment sağlamıştır. Bunun sebebi

Erdemli deneme alanındaki toprak yapısının erozivitesinin yüksek olması, daha derin olması ve agregatlaşmanın daha az olmasından dolayı meydana geldiği belirlenmiştir.



Şekil 6. Mersin İli Su Erozyonu Durumu Haritası [Harita] (Demirhan, 2023)

5. SONUÇ

Ulusal ölçekte, toprak erozyonu miktarının belirlenmesi amacı ile kullanılan Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), Yenilenmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği modeli ülkemizdeki erozyon miktarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Ülkemizde erozyon miktarının belirlenmesi amacıyla 2018 yılında RUSLE modeli kullanılarak Türkiye Su Erozyonu Haritası üretilmiş ve erozyon miktarı 642 milyon ton olarak belirlenmiştir.

Ancak RUSLE eşitliğinde kullanılan arazi örtüsü ve kullanımı (C) parametresinin ülkemize özgü olmaması sebebi ile ülkemize ait C parametresinin elde edilmesi gereksinimi ortaya çıkmıştır. Bu gereksinim nedeniyle proje alanında; çamlıdere 80 m² 'lik Erdemlide ise 40 m²'lik parsellerde RUSLE-C değerleri hesaplanmıştır.

RUSLE-C parametresi her parsel için bağımsız olarak hesaplanmış ve farklı kapalık koşullarına bağlı olarak meydana gelen sediment iletimi de parselde özgü olarak hesaplanmıştır. RUSLE-C parametresinin elde edilmesi amacı ile her parselde arazi kullanım durumu, yüzey pürüzlülüğü, tepe-yüzey kapalılığı, kök yoğunluğu ve nem miktarı ayrı ayrı ölçülmüş ve her bir parsel için C katsayıları elde edilmiştir. Hesaplamalarda pürüzlülük değerleri, Renard vd. 1997 yılında yayınlanan rehber ve koruma planından alınmıştır.

Yapılan uzun dönemli ölçümlerin mevsimsel olarak ortalamasının alınması ve ölçümlerin yoğun olduğu zaman aralığında RUSLE-C değerinin hesaplanması ölçüm olanakları sonucu gerçekleştirilmiştir. RUSLE-C faktörü 15 günlük periyotlar halinde hesaplanabilmekte ancak alınan verinin ölçüm sıklığının da buna uyarlanması gerekmektedir. Bu nedenle C katsayıları her bir parsel için her iki deneme alanında da ortalama ölçüm değerleri alınarak hesaplanmıştır. Elde edilen C katsayıları Türkiye Su Erozyonu Haritasının güncellenmesinde kullanılması amacıyla sisteme eklenmiştir. C değerleri meşcere ve CORINE2018 verilerine paralel olarak ait olduğu meşcere alanıyla eşleştirilip benzer alanlarda için kullanılması amacıyla RUSLE modelinde kullanılması ve haritanın güncellenmesinde değerlendirilmektedir.

Türkiye Su Erozyonu Haritasında kullanılan elde edilen yeni C değerleri sonucunda orman alanlarında erozyon değerli artış göstermiştir. Orman alanlarında erozyon değeri Ankara ili için toplamda yaklaşık 72.000 ton artış göstermiştir. Mersin ili için ise yaklaşık 120.000 ton erozyon artışı belirlenmiştir. Bu değerler ormanlık alanlar için hesaplanmış olup sadece C1, C2 ve C3 parsellerini kapsamıştır. OT değerleri için RUSLE modeline elde edilen C değeri atanacak ve orman içi açıklıklarda ve benzer alanlarda erozyon değeri belirlenecektir. K parselinden elde edilen C değeri tarım alanlarında bulunan K parseliyle uyumlu alanlar için erozyon değerini

verecek ve yüksek oranda değişikliğe neden olacağı öngörülmektedir ancak bu alanların bulunması ve sayısının çok olması modelin çalıştırılmasını zorlaştırmakta ve uyumlu alan tercihlerinin yapılması gerekmektedir.

Yapılan istatistiki değerlendirmeler ve analiz sonuçlarına dayalı olarak her iki deneme alanında da erozyonu etkileyen ana faktörlerin yüzey örtü kapalılığı ve yağış intensitesi olduğu ve istatistiki açıdan doğrudan ilişkili olduğu belirlenmiştir. Yüzey örtü kapalılığı arttıkça erozyon miktarı azalmıştır. Aynı şekilde yağışların intensitesindeki yükseklik ve topraktaki nem ve doymunluk oranının yüksek olması hidrolojik iletkenliği azaltarak suyun yüzeysel akışa geçmesine etki etmiş ve erozyonu tetiklemiştir. Erozyonun önlenmesinde yapılan bu çalışmanın sonuçlarına dayalı olarak yüzey örtüsü kapalılığının çok önemli olduğu ve erozyonu engellediği yapılan istatistiki modellemeyle ortaya konulmuştur. Bu çalışmanın erozyon kontrol ve azaltma faaliyetlerine katkıda bulunacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Alkan Y. 2006. Erdemli Kenti Mücavir alanı İçinde Ekolojik kapsamlı Alan Kullanımı Üzerine Bir Araştırma. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yıl 2010, Cilt: 23-1.
- Brooks SM., Richards KS. and Nussbaum R. 1994a. Simulator experiments of the varied consequences of rain forest logging for runoff and erosion. *Geografiska, Annaler. Series A Physical Geography*, 76: 3, 143-152. Bristol.
- Brooks SM., Richards KS. and Nussbaum, R. 1994b. Sediment rating curves for a clearcut Ponderosa pine watershed in northern Arizona. *Water-Res.Bulletin*. 1993, 29:3, 369-382, USA.
- Butt G. and Petch B. 1985. Erosion risk mapping in logging areas: Ulu Niah (pilot project). Forest Research Report, Forest Department, Sarawak. No. SS 14.
- Cogo NP, Moldenhauer WC and Foster GR. 1984. Soil loss reductions from conservation tillage practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:368-373.
- De Mello C.R., Agricultural watershed modeling: A review for hydrology and soil erosion processes *Cienc. E. Agrotecnologia* (2016).
- Demirtas, İ., 2017. Effects of Post-Fire Salvage Logging on Compaction, Infiltration, Water Repellency, and Sediment Yield and the Effectiveness of Subsoiling on Skid Trails. M.S. thesis, Michigan Technological University, Houghton, Michigan.
- Dinç U., Şenol S ., Kapur H ., Atalay İ. ve Cangir C. 1993. Türkiye Toprakları. Ç. Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:51, Ders Kitapları Yayın No: 12, Adana.
- Doğan O. 1982. Ankara koşullarında üniversal denklem faktörleri (ara rapor). Merkez Toprak Araştırma Enstitüsü Yayınları, Genel Yayın no: 82, Rapor Yayın no: 25, Ankara.
- Doğan O. 1985. Tokat yöresinin yağış erozyon indisi (R) ve önemli büyük toprak gruplarının aşanım duyarlılık (K) ile toprak koruma önlemleri (P) parametrelerinin yapay yağış koşullarında saptanması. KHGM Ankara Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın no: 105, Teknik Yayın no: 37, Ankara.
- Doğan O. ve Küçükçakar N. 1994. Ankara yöresinde üniversal toprak kaybı eşitliği parametreleri. KHGM Ankara Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Doğan O., Cebel H. 1998. Türkiye de Erozyon Probleminin Durumu ve Dalaman Havzası Erozyon Haritalama Çalışması Sonuçları, Afet zararlarının azaltılması ve fiziksel planlama faaliyetlerinde uzay teknolojilerinin sunduğu olanaklar. T.C Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Teknik Araştırma ve Uygulama Genel Müdürlüğü ve Avrupa konseyi Büyük Doğal ve Teknolojik Afetler (STRIM) ile ortak sempozyum, Yayın No:101, 24-26 Haziran-Ankara.
- Foster GR. 1982. Relation of USLE factors to erosion on rangeland. In Proc. Workshop on estimating erosion and sediment yield on rangelands, ed. K.G. Renard, 17-35. USDA-Agric. Res. Service, Agric. Reviews and Manuals, ARMW-25. Oakland CA, 94612.
- Gelagay, H.S. and Minale, A.S. Soil loss estimation using GIS and Remote sensing techniques: A case of Kogawatershed, Northwestern Ethiopia. *Int. Soil Water Conserv. Res.* 2016, 4, 126–136.

Gianinetto M., Aiello M., Vezzoli R., Polinelli F.N., Rulli M.C., Chiarelli D.D., Bocchiola D., and Ravazzani G., Soncini, A. Future Scenarios of Soil Erosion in the Alps under Climate Change and Land Cover Transformations Simulated with Automatic Machine Learning. *Climate* 2020, 8, 28.

Huang C H, & Laften J M (1996). Seepage and soil erosion for a clay loam soil. *Soil Science Society of America Journal* 60(2): 408-416.

Jayasuriya MDA., Dunn G., Benyon R. and O'shaughnessy PJ. 1993. Some factors affecting water yield from mountain ash (*Eucalyptus regnans*) dominated forests in south-east Australia, *Journal of Hydrology*, v. 150, n.2-4, p. 369-391.

Kinnell P.I.A., Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: A review, Volume 385, Issues 1–4, 7 May 2010, Pages 384-397 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.01.024>.

Köse C., ve Sayın F. 1978. Tokat yöresinde eğime dik sürüm ve ekimin toprak ve su korunumuna etkisi. Tokat Bölge Toprakları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü yayınları. Genel yayın no: 29 Rapor yayın no: 17, Tokat.

Laflen J.M., Highfill R.E., Amemiya M., & Mutchler CK. 1985. Su Erozyonunu Kontrol Etmeye Yönelik Yapılar ve Yöntemler. ASA, CSSA ve SSSA Kitapları, 431–442.

Laflen, J.M., G.R. Foster, and C.A. Onstad. 1985. Simulation of individual- storm soil loss for modeling the impact of soil erosion on crop productivity. In S.A. El-Swaify, W.C. Moldenhauer, and A. Lo, eds., *Soil Erosion and Conservation*, pp. 285-295. Soil Conserv. Soc. Am., Ankeny, Iowa.

Littell, R.C., Milliken, G., Stroup, W., Wolfinger, R., Schabenberger, O., 2006. SAS for Mixed Models, second edition, SAS Institute Inc., Cary, North Carolina.

Mrozek T., 1992. Transport of suspended sediment in agricultural drainage basin (Debruik) and a forested drainage basin (Ratanico) [Poland]., *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. Hugona Kollataja w Krakowie, Sesja Naukowa, No.32, 2, 229-241, Krakow, Poland.*

Nearing M.A., Jetten V., C. Baffaut C., Cerdan O., Couturier A., and Hernandez M., Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover *Catena*, 61 (2005), pp. 131-154 <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.03.007>.

Nearing M.A., Romkens M.J.M., Norton D.L., Stott D.E., Rhoton F.E., M. A. Laflen J.M, Flanagan D.C, C. V. Alonso C.V., Binger R.L., Dabney S.M., O. C. Doering O.C., Huang C.H., Mcgregor K.C, and Simon A., Measurements and models of soil loss rates *Science* (80), 290 (2000), pp. 1300-1301 <https://doi.org/10.1126/science.290.5495.1300b>.

Oğuz İ., 1993. Tokat Koşullarında Ünlversal Denklem R,K,P ve C (Mera için) Faktörlerin Tespiti. T.C. Orman Bakanlığı, 1. Ormancılık Şurası Tebliğler ve Ön Çalışma Grubu Raporları (Cilt,1) Seri No:13, Yayın No:6 s 528 – 538, 1993 Ankara.

Oğuz İ., Karaş E., Susam, T, Tetik, A., Noyan, Ö.F., Akar, Ö. 2006. Tokat Artova Çelikli Havzasında toprak bozulmasının belirlenerek sürdürülebilir bir tarım için havzanın planlanması. *Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Enstitü Yayın No: 230, Teknik Yayın No: 45, Tokat.*

Oliveira P.T.S, Nearing M.A., and Wendland E., Orders of magnitude increase in soil erosion associated with land use change from native to cultivated vegetation in a Brazilian savannah environment *Earth Surface Processes and Landforms*, 40 (2015), pp. 1524-1532 <https://doi.org/10.1002/esp.3738>.

Özkal, M.K., and Atar, D., 2021. Türkiye Orman Varlığı (ISBN 978-605-7599-68-1), Orman Genel Müdürlüğü. <https://www.ogm.gov.tr/tr/ormanlarimiz-sitesi/TurkiyeOrmanVarligi/>
Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, C., Alewell, C., Lugato, E., Montanarella, L., 2015b. Estimating the soil erosion cover-management factor at European scale. *Land Use Policy* 48C, 38–50, <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.021>.

Pierson FB. and Mualla DJ. 1990. Aggregate stability in the Palouse region of Washington: Effect of landscape position. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:1407-1412.

Polykretis, C., Alexakis, D.D., Grillakis, M.G., and Manoudakis, S., Assessment of Intra-Annual and Inter-Annual Variabilities of Soil Erosion in Crete Island (Greece) by Incorporating the Dynamic “Nature” of R and C-Factors in RUSLE Modeling. *Remote Sens.* 2020, 12, 2439. <https://doi.org/10.3390/rs12152439>.

Pomeschikov SP. 1988. Conservatory role of forest plantations on banks of small rivers., *Soviet-Agricultural-Sciences.* 1988, No. 5, 64-67, USSR.

Purwanto I. and Soerjono R. 1989. The impact of land use on erosion and runoff in the Citanduy watershed, *Buletin Penelitian Hutan*, No. 519, 35-54, Indonesia.

Renard K, Foster G, Weesies G, McCool D, Yoder D.1997. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). *Agriculture handbook 703.* Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington, District of Columbia, USA (1997).

Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K., and Yoder D.C., Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE) *US Department of Agriculture Agriculture Handbook*, 404 (1997)

Robichaud PR, Brown RE. 2002. Silt fences: an economical technique for measuring hillslope soil erosion. *General Technical Report RMRS-GTR-94*, US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO.

Soriso VM., Bryan RB., Yair A., Lovino F., Antronico L., Poesen J. (Ed.), Govers G. (Ed.), and Goosen D. 1995. Impact of afforestation on hydrological response and sediment production in a small Calabrian catchment. *Experimental geomorphology and landscape ecosystem changes. Proceedings memorial symposium Prof. Jan De Ploey*, Leuven, Belgium, 22-26 March, 1993., v. 25, n. 1-4, p. 89-104., *Catena*.

Taye G., Vanmaercke M., Poesen J., Van Wesemael B., Tesfaye S., Teka D., Nyssen J., Deckers J., Haregeweyn N. 2018. Determining RUSLE P- And C-Factors For Stone Bunds And Trenches In Rangeland And Cropland, North Ethiopia. *Land Degradation & Development*, 29(3), 812-824. doi: 10.1002/ldr.2814.

Ulun A. 2008. Alata Birinci Derece Sit Alanında Alan Kullanım Kararlarının Saptanması. *Doktora Tezi.* Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı.

Weltz, M.A., K.G. Renard, and J.R. Simanton. 1987. Revised universal soil loss equation for western rangelands, pp. 104-111. In US/Mexico Symposium on Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Arid Zones. U.S. Forest Serv. Gen. Tech. Rep. RM-150.

Wischmeier W.H., and Smith D.D., Predicting rainfall erosion losses- a guide to conservation planning US Department of Agriculture Agriculture Handbook, 537 (1978), p. 67.

Wischmeier, W.H. 1975. Estimating the soil loss equations cover and management factor for undisturbed lands. In Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources, pp. 118-125. U.S. Dep. Agric., Agric. Res. Serv., ARS-S-40.

Wischmeier W.H., and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. U.S. Dep. Agric., Agric. Handb. No. 537.

Yılmaz E., 2006. Çamlıdere Barajı Havzasında Erozyon Problemi ve Risk Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya (Fiziki Coğrafya) Anabilim Dalı,

Z.H. Shi, C.F. Cai, S.W. Ding, T.W. Wang, T.L. and Chow b. Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS: A case study in the Three Gorge Area of China *Catena* (2004), Volume 55, Issue 1, Pages 33-48, [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(03\)00088-2](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(03)00088-2).

Zhang H., Yu D., Dong L.; Shi X., Warner E., Gu Z., and Sun J., Regional soil erosion assessment from remote sensing data in rehabilitated high density canopy forests of southern China, *Catena* (2014). Volume 123, Pages 106-112, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.07.013>.

Zhao WW., Fu BJ., Chen LD. 2012. A comparison between soil loss evaluation index and the C-factor of RUSLE: a case study in the Loess Plateau of China. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 2739–2748. doi:10.5194/hess-16-2739-2012.