



T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

KALİBRE EDİLMEMİŞ WEPP HILLSLOPE MODELİ İLE ŞEV
UZUNLUĞUNUN TOPRAK EROZYONA ETKİSİNİN
BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yasemin YAPRAK

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Saniye DEMİR

TOKAT- 2024

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Saniye DEMİR danışmanlığında hazırlamış olduğum “Kalibre Edilmemiş WEPP Hillslope Modeli ile Şev Uzunluğunun Toprak Erozyona Etkisinin Belirlenmesi” adlı Yüksek Lisans/ Doktora tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

28/11/2024

Yasemin YAPRAK



JÜRİ KABUL VE ONAY

Yasemin YAPRAK tarafından hazırlanan “**Kalibre Edilmemiş WEPP Hillslope Modeli ile Şev Uzunluğunun Toprak Erozyona Etkisinin Belirlenmesi**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı **28/11/2024** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı Soyadı)

İmzası

Üye (Başkan) :.....

.....

Üye :

.....

Üye :

.....

Üye :

.....

Üye :

.....

ONAY

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

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEŞEKKÜR

Çalışma konumun belirlenmesi, yürütülmesi, yazılması aşamalarında her daim yanımda olan ve bıkmadan, usanmadan bana yol gösteren değerli Danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Saniye DEMİR’e, teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Yasemin YAPRAK

28/11/2024



ÖZET

KALİBRE EDİLMEMİŞ WEPP HILLSLOPE MODELİ İLE ŞEV UZUNLUĞUNUN TOPRAK EROZYONA ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

YAPRAK, Yasemin

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Saniye DEMİR

Kasım, 2024, 11i+ 75 sayfa

Bu çalışmada, Ankara-Beytepe serisi üzerinde farklı uzunluklardaki (22, 44, 66 ve 88 m) yamaç arazilerde meydana gelen toprak kayıpları ve yüzey akışları incelenmiştir. 1967-1996 yılları arasında her bir yamaç üzerinde toprak kaybı ve yüzey akış verileri gözlemlenmiş ve bu veriler, kalibre edilmemiş WEPP Hillslope modeli ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre hem gözlemlenen hem de model ile tahmin edilen en düşük toprak kaybı 22 m uzunluğundaki yamaçta kaydedilmiştir. Şev uzunluğu arttıkça toprak kayıplarının da arttığı görülmüştür. En yüksek gözlenen bireysel toprak kaybı 44 m (0.215 kg/m^2) uzunluğundaki yamaçta gerçekleşirken, model ile tahmin edilen en yüksek toprak kaybı 88 m'de (0.187 kg/m^2) meydana gelmiştir. Yüzey akış verileri incelendiğinde ise en yüksek yüzey akışının 44 ve 66 m uzunluğundaki yamaçlarda olduğu, ancak 88 m uzunluğundaki yamaçta azaldığı belirlenmiştir. Şev uzunluğunun toprak erozyonuna etkisini belirlemeyi amaçlayan bu çalışma, kalibre edilmemiş WEPP Hillslope modelinin toprak kayıplarını yüzey akışına göre daha iyi tahmin ettiğini göstermiştir. Ancak, çalışma alanının kurak iklimde yer alması nedeniyle, modelin hem toprak kaybı hem de yüzey akış tahminlerinde güvenilir sonuçlar elde edilebilmesi için kalibre edilmesinin gerekli olduğu sonucuna varılmıştır. Kurak iklimlerde yağış miktarı, yağış şiddeti, buharlaşma oranı ve toprak nem durumu gibi faktörler erozyon ve yüzey akışını doğrudan etkileyebildiğinden, modelin bu koşullara özgü olarak kalibre edilmesi, tahmin doğruluğunu artıracaktır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir Tarım, Toprak Kaybı, Yüzey akış, Kalibre Edilmemiş WEPP Model, Arazi Kullanımı, Tokat.

ABSTRACT

DETERMINING THE EFFECT OF SLOPE LENGTH ON SOIL EROSION USING THE UNCALIBRATED WEPP HILLSLOPE MODEL

YAPRAK, Yasemin

Department of Soil Science and Plant Nutrition

Advisor: Asst. Prof. Saniye DEMİR

November, 2024, 11i + 75 pages

This study investigated soil erosion on slope lengths of 22, 44, 66, and 88 meters located in the Ankara-Beytepe region. Soil loss and surface runoff data were observed on each slope from 1967 to 1996. The findings were compared with the uncalibrated WEPP (Water Erosion Prediction Project) model. The thesis study aimed to determine the effect of slope length on soil erosion. The results show that the lowest soil loss, observed and predicted by the model, was recorded on the 22 m slope. It's been observed that soil losses increase as slope length increases. The highest observed soil loss event occurred on the 44 m slope (0.215 kg/m^2), while the highest soil loss predicted by the model occurred on the 88 m slope (0.187 kg/m^2). The analysis of surface runoff data reveals that the highest surface runoff occurred on the 44 m and 66 m slopes, but decreased on the 88 m slope. The study aimed to determine the effect of slope length on soil erosion, revealing that the uncalibrated WEPP Hillslope model predicted soil losses more accurately than surface runoff. Given the arid climate of the study area, calibrating the model is essential to ensure reliable predictions of both soil loss and surface runoff. Calibrating the model for arid climates is crucial for improving prediction accuracy, as factors such as rainfall amount, intensity, evaporation rate, and soil moisture directly influence erosion and surface runoff.

Keywords: Sustainable Agriculture, Soil Loss, Surface Flow, Uncalibrated WEPP Model, Land Use, Tokat.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK SÖZLEŞME	ii
JÜRİ KABUL VE ONAY.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Erozyon ve Sedimentasyon: Süreçler ve Sorunlar	2
1.1.1. Toprak Erozyon Miktarını Etkileyen Faktörler	2
1.1.1.1. Enerji faktörleri	2
1.1.1.2. Direnç faktörleri	4
1.1.1.3. Koruma faktörleri.....	4
1.1.1.4. Şev uzunluğu ve yağışlar arasındaki ilişki	5
1.1.1.5. Yüzey akış ve şev uzunluğu arasındaki ilişki	7
1.1.1.6. Bitki örtüsü ile şev uzunluğu arasındaki ilişki	9
1.1.1.7. Toprak kaybı ile şev uzunluğu arasındaki ilişki.....	10
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
3.1. Materyal	21
3.1.1. Ankara Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü.....	21
3.1.2. Araştırma Yerinin İklim Özellikleri	21
3.1.3. Toprak Özellikleri.....	23
3.1.3.1. Araştırma serisinin tanımı	23
3.1.4. Bitki Örtüsü	25

3.2. Yöntem	25
3.2.1. Toprak Örneklerinin Alınması ve Yapılan Analizler	25
3.2.2. Yüzey Akış ve Toprak Kayıplarının Belirlenmesi	25
3.3. Water Erosion Prediction Project Model	26
3.3.1. Model Girdilerinin Hazırlanması.....	26
3.3.1.1. İklim dosyası (climate file)	26
3.3.1.2. Eğim dosyası (slope file)	27
3.3.1.3. Şevin şekli	27
3.3.1.4. Dönüşüm	28
3.3.1.5. Görünüş	28
3.3.1.6. Profil genişliği.....	28
3.3.1.7. Toprak dosyası (soil file)	29
3.3.1.8. Bitki amenajmanı dosyası (management file).....	30
3.3.2. İstatistiksel Analiz	30
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	31
4.1. CLIGEN Yağış Simülasyon Sonuçları.....	31
4.2. Çalışma Noktaları Toprak Kaybı ve Yüzey Akış Kayıpları	36
4.2.1. 22m Uzunluğundaki Şeve Ait Sonuçlar	36
4.2.1.1. Bireysel olaylara ait sonuçlar	36
4.2.2. 44m Uzunluğundaki Şeve Ait Sonuçlar	40
4.2.2.1. Bireysel sonuçlar.....	40
4.2.3. 66m Uzunluğundaki Şeve Ait Sonuçlar	47
4.2.3.1. Bireysel sonuçlar.....	47
4.2.4. 88m Uzunluğundaki Şeve Ait Sonuçlar	53
4.2.4.1. Bireysel sonuçlar.....	53
4.2.5. Farklı Eğim Uzunluğundaki Şevlere Ait Sonuçlar	57
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	59
6. KAYNAKÇA.....	61

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No	Sayfa
Çizelge 3.1. Ankara meteoroloji istasyonu uzun yıllık iklim verileri.....	22
Çizelge 3.2. Çalışma alanının toprak özelliklerine ait bilgiler	24
Çizelge 3.3. Beytepe serisinin profil tanımlaması	24
Çizelge 3.4. Model performansının değerlendirilmesinde kullanılan istatistiksel analizler ..	30
Çizelge 4.1. Gözlenen ve CLIGEN yağışlara ait değerler ve mevsimsel değişimler	34
Çizelge 4.2. Gözlene ve simüle edilen birreysel toprak kaybı ve yüzey akış sonuçları(22m)	37
Çizelge 4.3. Gözlene ve simüle edilen birreysel toprak kaybı ve yüzey akış sonuçları(44m).....	41
Çizelge 4.4. Gözlene ve simüle edilen birreysel toprak kaybı ve yüzey akış sonuçları(66m).....	48
Çizelge 4.5. Gözlene ve simüle edilen birreysel toprak kaybı ve yüzey akış sonuçları(88m).....	53
Çizelge 4.6. Farklı Şev Uzunluklarında meydana gelen toprak kaybı ve yüzey akışların karşılaştırılması.....	58

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No	Sayfa
Şekil 1.1. Erozyona neden olan faktörler.....	3
Şekil 1.2. Tarım arazilerinde toprak işlemenin etkisi	3
Şekil 1.3. Sıçrama Erozyonu.....	6
Şekil 1.4. (a) Ekim sonrası toprakta yaprak erozyonu ve (b) Ekilebilir arazide aşırı su birikimi ve tortul birikimine neden olan yoğun yaprak erozyonu	7
Şekil 1.5. Yüzey akış ve eğim arasındaki ilişki	8
Şekil 1.6. Bitki örtüsü ile şev uzunluğu arasındaki ilişki.....	9
Şekil 1.7. Toprak kaybı ile şev uzunluğu arasındaki ilişki	11
Şekil 3.1. Araştırma yeri yer buldur haritası.....	21
Şekil 3.2. Ankara meteoroloji istasyonu uzun yıllık iklim verileri.....	23
Şekil 3.3. Kalibre edilmemiş WEPP model verileri	29
Şekil 4.1. Gözlenen ve simüle edilen yağışlar arasındaki ilişki.....	32
Şekil 4.2. Gözlenen yağışların yıllara göre değişimi	33
Şekil 4.3. CLIGEN model ile tahmin edilen yıllık yağışların yıllara göre dağılımı	34
Şekil 4.4. Gözlenen ve tahmin edilen bireysel toprak kaybı verileri arasındaki ilişki ...	39
Şekil 4.5. Gözlenen ve tahmin edilen bireysel yüzey akış verileri arasındaki ilişki (22m)....	40
Şekil 4.6. Gözlenen ve tahmin edilen bireysel toprak kaybı verileri arasındaki ilişki (44m).	45
Şekil 4.7. Gözlenen ve tahmin edilen bireysel yüzey akış verileri arasındaki ilişki (44m)....	46
Şekil 4.8. Gözlenen ve tahmin edilen bireysel toprak kaybı verileri arasındaki ilişki (66m). 51	
Şekil 4.9. Gözlenen ve tahmin edilen bireysel yüzey akış verileri arasındaki ilişki (66m)....	52
Şekil 4.10. Gözlenen ve tahmin edilen bireysel toprak kaybı verileri arasındaki ilişki (88m)	56
Şekil 4.11. Gözlenen ve tahmin edilen bireysel yüzey akış verileri arasındaki ilişki (88m)..	57

KISALTMALAR

ARS	: Agricultural Research Service
ASAE	: American Society of Association Executiues
cbs	: Coğrafi Bilgi Sistemi
DSİ	: Devlet Su İşleri
KDK	: Katyon Değişim Kapasitesi
NSE	: Nash-Sutcliffe Model Efficieny
NSERL	: Natural Science and Engineering Research Laboratory
RUSLE	: Revized Soil Loss Equation
SWATT	: Soil and Water Assessment Tool
Ua	: Uzaktan Algılama
USDA	: United States Department of Agriculture
USLE	: Universal Soil Loss Equation
WEPP	: Water Eresion Prediction Project

1.GİRİŞ

Toprak, yer kabuğunu oluşturan kayaların, minerallerin ve organik maddelerin bileşimi olup, yaşam için dört temel unsurdan biridir. Yeryüzünde güneş, hava ve suyla birlikte tüm canlıların besin kaynağıdır (Akalan, 1983). İnsanların bugün ve gelecekteki yaşam kalitesi, toprakların verimliliğine, yiyecek üretimi ile sürdürülebilirliğine bağlıdır. Yeryüzündeki tüm canlılar için yaşam kaynağı olan toprağın korunması gerekmektedir. Toprak oluşumunu hızlandırmak veya toprak miktarını yapay olarak artırmak mümkün değildir. Bu nedenle, toprak konusunda diğer doğal kaynaklara göre daha dikkatli olunmalıdır (Özsoy, 2007).

Toprağın su veya rüzgâr gibi dış kuvvetlerin etkisiyle aşınıp taşınması olayı olan toprak erozyonu, özellikle eğimli arazilerde tarımın yoğun olduğu bölgelerde ciddi bir çevresel sorundur. Toprağın üst verimli tabakasının kaybolmasıyla birlikte, tarım arazilerinin verimliliği azalmakta, su tutma kapasitesi düşmekte ve biyolojik çeşitlilik tehdit altına alınmaktadır (Tang 1999). Tarım topraklarında, toprak erozyonu ile toprağın strüktürü bozulmakta, organik madde, bitki besin elementi ve yararlı su içeriği azalmaktadır. Bundan dolayı; yetiştirilen ürünler kuraklığa karşı daha hassas olmakta, toprak sürüm tabakası incelmekte, toprağın verimliliği azalmakta, yetiştirilen ürün içeriği sınırlı hale gelmekte, gübreleme maliyeti artmaktadır (Xiao et al. 2015, 2017). Tarım arazileri, orman ve mera arazisi ile karşılaştırıldığında, toprak erozyonuna çok daha uygundur (Song et al. 1998; Sun et al. 2005; Singh et al. 2011; Wang et al. 2011). Eğimli arazilerde uzun yıllar boyunca bitki örtüsünü korumak oldukça zordur. Çünkü bitki örtüsü zamanla ani değişiklikler gösterebilir. İlk olarak, üzerinde az miktarda veya hiç bitki örtüsü bulunmayan topraklar toprak işleme, dikim ve ekim sırasında erozyonu azaltacak yeterli bitki örtüsüne sahip değildir. İkinci olarak, tarım arazileri, yağışı engelleme, geciktirme ve depolama yeteneği açısından orman ve mera arazilerine kıyasla daha düşük kapasiteye sahiptir. Bundan dolayı eğimli arazilerde genellikle tek bir ürün yetiştirilmekte ve basit bir bitki örtüsüne sahip olmaktadır. Üçüncü olarak, eğimli tarım arazilerinin düzenli olarak sürülmesi gerektiğinden, erozyona karşı uzun vadeli olarak korumak oldukça güçtür. Ayrıca, sürülen alandaki eğim mikro topoğrafyasındaki değişiklikler erozyonu artırabilmektedir (Çilek, 2021). Gerçekte, yoğun bir toprak işleme bir nevi erozyon çeşidi olarak kabul edilebilir. Toprak agregatlarında, söz konusu bu faktörlerin etkisi ortaya çıktığında eğimli

arazilerde görülen toprak erozyonu çok daha önemli bir hale gelmektedir. Bundan dolayı toprak erozyonuna maruz kalan ülkelerde tarım geçim kaynağı olduğu için gıda güvenliği ve ekolojik çevrenin korunmasını sağlamak amacıyla, toprak erozyon sorununa büyük önem vermektedirler (Marohn ve ark., 2020).

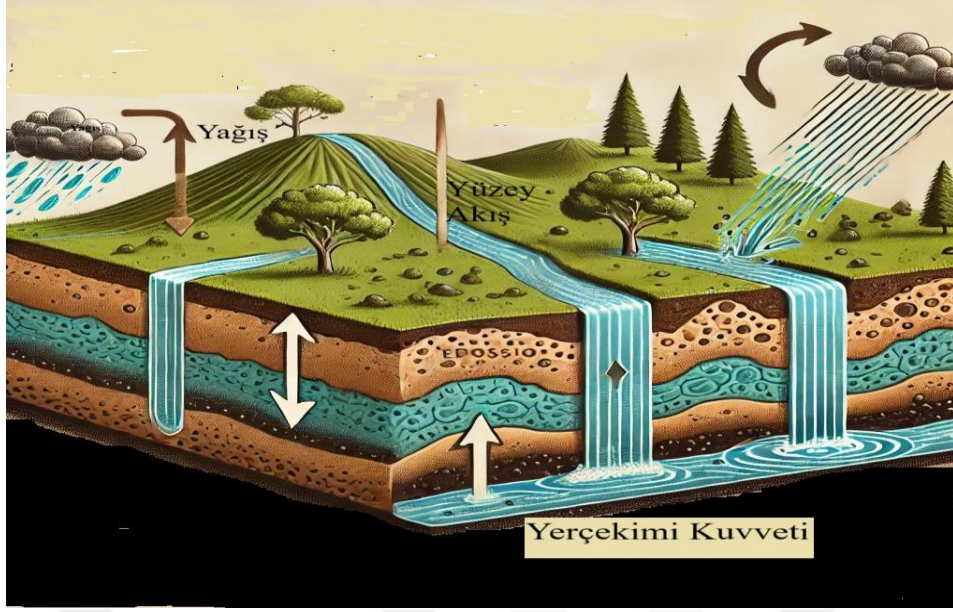
1.1. Erozyon ve Sedimentasyon: Süreçler ve Sorunlar

1.1.1. Toprak Erozyon Miktarını Etkileyen Faktörler

Toprak erozyonunu etkileyen faktörlerini a) enerji faktörleri, b) direnç faktörleri, c) koruma faktörleri olmak üzere üç ana başlık altında toplamak mümkündür:

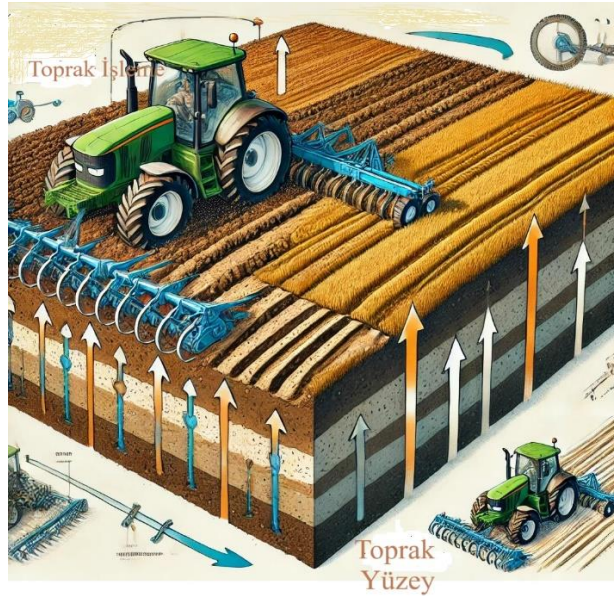
1.1.1.1. Enerji faktörleri

Erozyona neden olan faktörler; yağış, yüzey akışı, rüzgâr, buz, yer çekimi gibi çeşitli doğal etkenlerin yanı sıra, mekanik araçların (makinelerin) toprak parçacıklarını koparma kapasitesine de bağlıdır (Şekil 1.1). Bu bağlamda erosivite; erozyona neden olan faktörlerin toprağa zarar verme potansiyeli olarak tanımlanır. Arazinin morfolojik özellikleri (eğim, yön, şekil ve uzunluk) bu enerji faktörleriyle doğrudan ilişkilidir ve bu özellikler erozyon riskini belirler. Rüzgâr hızı ve buharlaşma, rüzgâr erozyonunun farklı alanlara yayılma biçimini ve etkisini kontrol eden başlıca faktörlerdir. Rüzgâr, toprak parçacıklarını seçici bir şekilde hareket ettirerek yuvarlanma ve sıçrama süreçleri ile yakın çevredeki alanlara taşırken, süspansiyon halinde taşınan ince toz parçacıkları kuru birikim şeklinde daha uzak mesafelere ulaşmaktadır. Bu süreç, rüzgâr erozyonunun hangi bölgelerde daha yoğun olduğunu belirleyerek, erozyonun coğrafi dağılımını şekillendirir. Su erozyonu ise hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde toprak bozulmasının başlıca nedenlerinden biridir (Isselin-Nondedeu ve Bédécarrats, 2007; Joint Research Center ISPRA, 2009).



Şekil 1.1. Erozyona neden olan faktörler

Mekanik erozyon süreçleri arasında makinelerin toprak hareketine ve kayıplarına neden olduğu toprak işlemesi (Şekil 1.2), arazi düzeltme, kök ve yumru bitkilerinin hasatı yer almaktadır (Meusburger & Alewell, 2009; Masiello & Druffel, 2001). Tarımsal alanlarda toprak işlemesi, toprak verimliliği, çevre kalitesi veya peyzaj çalışmaları üzerindeki erozyon etkileri değerlendirilirken dikkate alınması gereken ek bir önemli küresel toprak bozulma süreci olarak tanımlanmıştır (Bellanger ve ark., 2004).



Şekil 1.2. Tarım arazilerinde toprak işlemenin etkisi

1.1.1.2. Direnç faktörleri

Toprağın erozyona uygunluğu veya erozyona duyarlılığı, toprağın fiziksel ve mekanik özellikleriyle doğrudan ve diğer özellikler ise dolaylı olarak ilişkilidir (World Reference Base for Soil Resources, 2006; Flanagan & Nearing, 1995). Topraktaki organik madde miktarı, toprağın gözenekliliğini artırarak suyun emilmesini sağlar. Bu sayede yüzey akışı azalır ve erozyon riski düşer. İyi gelişmiş bir toprak yapısı, toprağın su tutma kapasitesini artırır ve erozyona karşı daha dirençli hale getirir. Kil mineralleri, toprak parçacıklarını birbirine bağlayarak toprağın yapısını güçlendirir ve erozyonu önler. Bitki kökleri, toprağı tutarak erozyona karşı daha dirençli hale getirir. Derin ve yaygın kök sistemine sahip bitkiler, toprağı daha iyi tutar. Bitki artıkları, toprağın yüzeyini kaplayarak yağmur damlalarının etkisini azaltır ve erozyonu yavaşlatır.

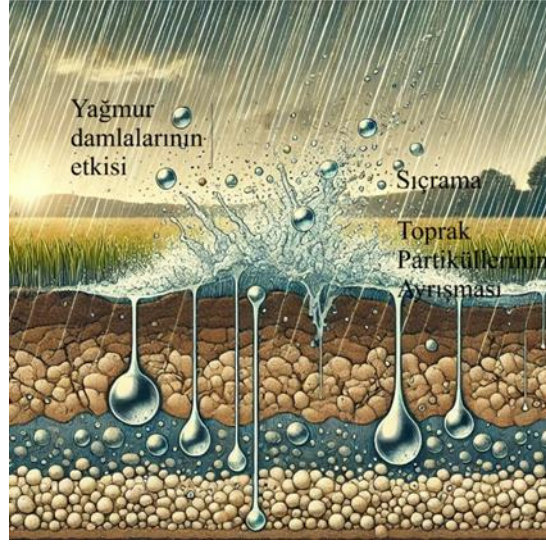
1.1.1.3. Koruma faktörleri

Pratikte, yerel arazi kullanımı ve yönetim uygulamalarına bağlı olarak belirli bir konumda çeşitli erozyon türleri meydana gelebilir (Van Rompaey ve ark., 2003). Ancak, erosiviteyi azaltabilecek bir dizi faktör de bulunmaktadır. Yağışın kesintiye uğraması bu konuda önemli bir faktördür ayrıca, iyi bir bitki örtüsü (vejetasyon veya bitki artıkları) toprağı su ve rüzgârdan koruyacak ve erozyon kayıpları buna göre azalacaktır. Aksine, ormansızlaşma ve aşırı otlatma ile bitki örtüsünün uzaklaştırılması, erozyonu ve yer dışı birikimini artıracaktır. Kurak bölgelerde kıt doğal bitki örtüsünün kaybedilmesi ya da kaldırılması, toprağı rüzgâr ve su erozyonuna karşı savunmasız bırakmakta ve çölleşmeyi teşvik etmektedir. Gelişmekte olan dünyanın birçok yerinde, ortak arazilerde geçimini tarımdan sağlayan fakir çiftçilerin yeterli toprak yönetimi ve korunmasına izin verecek ekonomik ve teknik kaynakları yoktur. Bundan dolayı, toprak kalitesini iyileştirmek için yatırım yapamazlar. Bu nedenle, erozyon yoluyla toprak kaynaklarının bozulmasının itici güçleri olan sosyo-ekonomik ve politik faktörlerin önemini dikkate almak gereklidir. Kaynakların mevcudiyeti ve ilgili kurumlar tarafından sağlanan ekonomik teşvikler ile ilişkili tarım politikaları da arazi kullanımını ve yoğunlaştırılmasını büyük ölçüde etkilemektedir. Bu faktörler toprak erozyonu üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilir (Simonato ve ark., 2002, Konz ve ark., 2009).

Günümüzde yapılan toprak erozyon çalışmalarında, şevin uzunluğunun erozyona olan etkisi daha az araştırılmıştır. Bu tür çalışmalar, en fazla %20'den daha az eğime sahip tarım arazilerinde ya da laboratuvar koşullarında çalışılmıştır. Şevin uzunluğu; yüzey akışın başlangıç noktasından eğim derecesinin yeterince azaldığı veya akış suyunun belirli bir kanala girdiği noktaya kadar olan mesafeyi ifade etmektedir. Şevin uzunluğu erozyon şiddetini, suyun taşıma kapasitesini ve erozyonun ne kadar etkili olacağını belirlemek için önemli bir ölçüttür (Ma et al., 2016). Şevin uzunluğu, yağmur veya rüzgâr gibi çevresel etkenlerle etkileşime girerek toprağın aşınma ve taşınma süreçlerini yönlendirmektedir. Yağmur damlasının kinetik enerjisi, yüzey akışı ve yağmur damlası ile arasındaki etkileşim sonucunda toprak partiküllerini birbirinden ayıran enerjidir.

1.1.1.4. Şev uzunluğu ve yağışlar arasındaki ilişki

Belirli bir eğimde yüzey akış özellikleri ve suyun erozyon gücü, yağışın şiddeti, süresi ve damla büyüklüğü gibi yağış özelliklerinin yanı sıra, mevcut yüzey koşulları ile toprak ve sığ alt zeminin hidrolojik özelliklerinden etkilenir. Toprak erozyonunun enerji dengesini etkileyen temel faktörlerden biri yağıştır (Sukhanovski ve ark., 2002). Yağmur damlalarının toprağa çarpması, su kaynaklı erozyonun başlangıç aşamasını oluşturur (Şekil 1.3). Bu etki, toprak parçacıklarının kopmasına, agregatların dağılmasına ve erozyonla taşınan tortuların hareketine neden olur (Foot ve Morgan, 2005; Nanko ve ark., 2020; Pathirana ve ark., 2009). Özellikle kısa süreli ve yoğun yağışlarda, toprak hareketi belirgin şekilde artar (Janapati ve ark., 2019). Yağışın erozyon üzerindeki etkisi, yağmur damlalarının kinetik enerjisine ve toprağa çarpma gücüne bağlı olarak "erosivite" olarak adlandırılır (Angulo-Martínez ve ark., 2016).



Şekil 1.3. Sıçrama Erozyonu

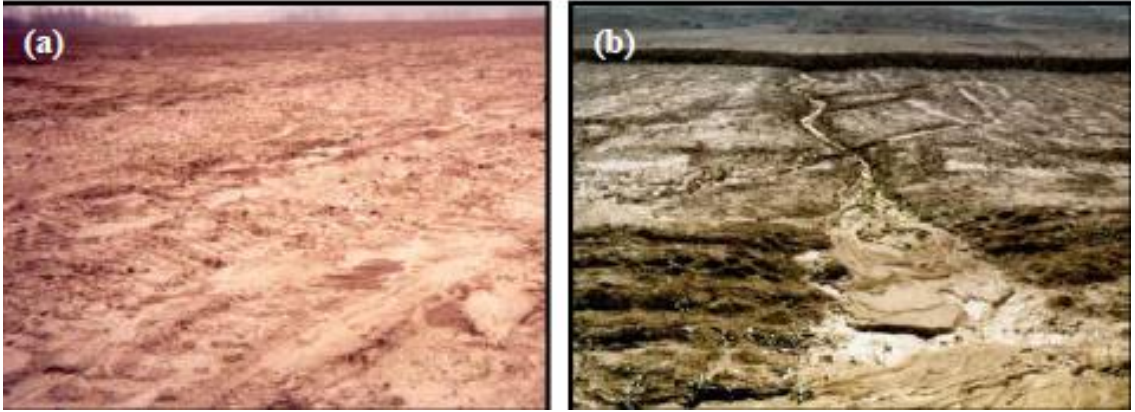
Yağış erosivitesi, yağmur damlalarının kinetik enerjisi ve momentumu ile tanımlanır (Goebes ve ark., 2014; Foot ve Morgan, 2005; Nanko ve ark., 2008). Bu enerji, damlaların kütlesi, boyutu, şekli, terminal hızı ve yağış yoğunluğu gibi faktörlerin bir fonksiyonudur (Shinohara ve ark., 2018). Yağmur damlalarının toprağa uyguladığı kuvvet, toprak agregatlarının parçalanmasına yol açar. Bu süreçte, yağışın kinetik enerjisi, erozyonu başlatan temel etkindir (Carollo ve ark., 2018; Lal, 1994). Yağmur damlası büyüklüğü ve terminal hızının analizi, bu sürecin anlaşılması için kritiktir (Jan ve Jana, 2018). Yağmur damlalarının kinetik enerjisi, toprak parçacıklarını kopararak yerinden oynatır ve yüzey akışı ile taşınmasını kolaylaştırır (Wang ve ark., 2014). Ayrıca, iklim değişikliğiyle artan yağış sıklığı ve şiddeti, yağış kaynaklı toprak erozyonunun daha yoğun hale gelmesine neden olabilir. Bu durum, ekosistem yönetimi çerçevesinde etkili ve sürdürülebilir toprak koruma önlemlerinin alınmasını gerektirir (Panagos ve ark., 2015; Rodrigues ve ark., 2020). Ormanlaştırma hem erozyon kontrolü hem de iklim değişikliğiyle mücadele stratejisi olarak önemlidir (Li ve ark., 2019; Nanko ve ark., 2008; Forster ve ark., 2021).

Yağmur damlalarının çapı genellikle 6 mm'ye kadar değişmekte olup 4 mm'den büyük damlaların oluşumu nadirdir. Damla boyutu, erozyonun anahtar faktörlerinden biridir. Çünkü düşme hızı ve kinetik enerji damla çapına bağlıdır. Örneğin, 6 mm'lik bir damlanın hızı 9 m/s'ye kadar çıkabilir (Epema ve Riezebos, 1983). Carter ve ark. (1974), en yaygın damla boyutunun yaklaşık 1 mm çapında olduğunu belirtmiştir.

Damlaların boyutu ve yağış yoğunluğu arasındaki ilişki, erozyon potansiyelinin değerlendirilmesinde kritik bir role sahiptir.

Yağmur damlaları eğimli bir yüzeye çarptığında su erozyonu, tabaka erozyonu, oluk erozyonu ve yarık erozyonu gibi farklı süreçleri başlatır (Şekil 1.4). Ayrıca, bitki örtüsü ve toprak hidrolojik koşullarındaki değişiklikler, özellikle düşük stabiliteye sahip eğimli arazilerde yüzey kütlesinin hareketine neden olabilir (Van Rompaey ve ark., 2003). Yağmur damlalarının etkisiyle toprak parçacıkları yerinden kopar ve yüzey akışıyla taşınabilir hale gelir. Bu durum, yüzey akışının türbülansını artırarak toprak taşıma kapasitesini yükseltir.

Wischmeier (1959), yağışın kinetik enerjisi ve maksimum 30 dakikalık yağış şiddeti arasında anlamlı bir ilişki tespit etmiştir. Bu ilişkiyi "Erozyon Endeksi" olarak adlandırmış ve yağışın darbe enerjisi, hacmi ve yüzey akış türbülansının birleşik etkilerini değerlendirmek için kullanmıştır (Wischmeier ve Smith, 1958). Bu endeks, toprak koruma uygulamaları ve erozyon modellerinin geliştirilmesinde önemli bir temel oluşturmaktadır.

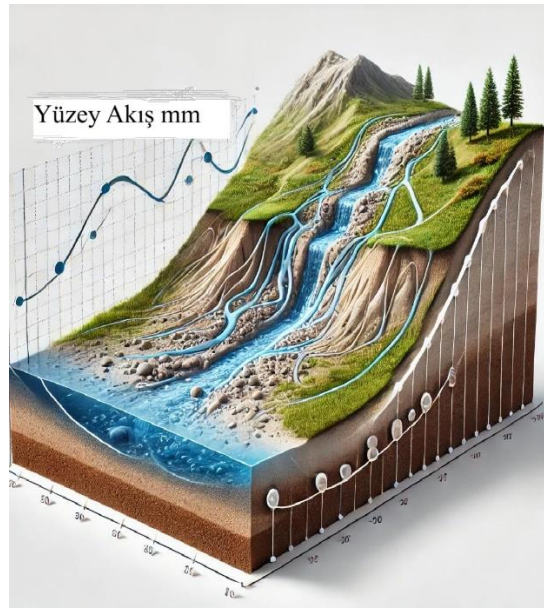


Şekil 1.4. (a) Ekim sonrası toprakta yaprak erozyonu ve (b) Ekilebilir arazide aşırı su birikimi ve tortul birikimine neden olan yoğun tabaka erozyonu (Helming & Favis-Mortlock, 2005).

1.1.1.5. Yüzey akış ve şev uzunluğu arasındaki ilişki

Toprağın aşınma hızı, birçok faktörün bir araya gelmesiyle belirlenir ve bu faktörlerin etkileşimi tam olarak anlaşılamadığından, erozyonun farklı yerlerde farklı şekilde gerçekleşmesi bilim insanları arasında tartışma konusudur.

Yüzey akış, toprak erozyonu sürecinde doğrudan rol oynayan ilk aşamadır. Genellikle eğim uzunluğuyla neredeyse doğru orantılı olarak artış gösterdiğinden, eğim uzunluğunun erozyona etkisi, yüzey akış hızının etkisine çok benzer olması beklenir. Eğim uzunluğunun erozyon üzerindeki etkisini araştıran ilk çalışmalar Daley ve Ackerman (1934) tarafından yapılmış, ancak sonuçları tutarsız bulunmuştur. Yüzey akışın hareket hızı, şiddeti ve derinlik ile yakından ilişkilidir. Akış hızı, toprak yüzeyindeki suyun ne kadar hızlı hareket ettiğini belirtir. Akışın hızı arttıkça suyun taşıdığı kinetik enerji de artmaktadır. Söz konusu bu durum, toprak parçacıklarının kaymasına neden olmaktadır. Akışın derinliği, suyun toprak yüzeyinde ne kadar geniş bir alanda yayıldığını göstermektedir. Derin akışlar, daha fazla suyu hareket ettirebilir ve böylece bu alanlar erozyona karşı daha duyarlı hale gelebilir (Geng et al., 2010). “Konsantrasyon zamanı” olarak adlandırılan kavram, yağmur veya sulamanın başlamasından itibaren suyun en yüksek hızla hareket ettiği noktaya kadar geçen süre olarak tanımlanmaktadır. Bu süre, suyun yüzeyde birikmesi veya akması için geçen süreyi temsil etmektedir. Bu süre ne kadar kısa olursa, hızı da o kadar yüksek olmaktadır ve erozyon potansiyeli artmaktadır. Ayrıca, bu kavram şevin uzunluğu ile yakından ilişkilidir. Şevin uzunluğu arttıkça bu sürede artmaktadır. Bu durum, toprak yüzeyindeki akışın toprak yüzeyinde daha uzun süre kalmasına neden olmaktadır. Böylece, toprağa daha fazla su sızmakta ve erozyon potansiyeli azalmaktadır (Şekil 1.5).

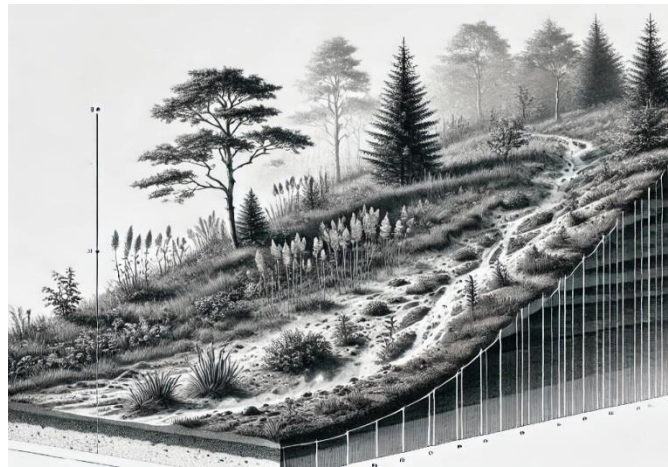


Şekil 1.5. Yüzey akış ve eğim arasındaki ilişki

Birçok bilim insanı, yapılan araştırmalarda eğim uzunluğu arttıkça, yüzeydeki suyun derinliğinin de azaldığını gözlemlemiştir. Ayrıca, bu azalma ilişkisinin genellikle matematiksel bir model şeklinde ifade edilebileceğini belirtmişlerdir (van de Giesen vd., 2000; Kirkby, 2002; Yair ve Raz-Yassif, 2004; Parsons vd., 2006; Gomi vd., 2008; Xu vd., 2009; Bagarello ve Ferro, 2010; Moreno-de las Heras vd., 2010; van de Giesen vd., 2011; Chen vd., 2016; Bagarello ve Ferro, 2017; Bagarello vd., 2018b).

1.1.1.6. Bitki örtüsü ile şev uzunluğu arasındaki ilişki

Moreno-de las Heras vd. (2010), düşük şiddetli yağışlarda birim alan başına toprak kaybının eğim uzunluğuyla azaldığını, ancak yüksek şiddetli yağışlarda ise eğim uzunluğuyla oldukça arttığını bulmuştur (Şekil 1.6). Prats vd. (2016), erozyondaki ölçek etkisinin bitki örtüsü ile büyük ölçüde değiştiğini göstermiştir. Seyrek bitki örtülü yamaçlarda, birim alan başına toprak kaybı eğim uzunluğuyla üstel olarak artarken, orta derecede bitki örtülü yamaçlarda ise doğrusal olarak artmaktadır. Bununla birlikte, yoğun bitki örtülü yamaçlarda, birim alan başına toprak kaybı eğim uzunluğuyla güç-yasası şeklinde azalan bir eğilim göstermektedir (Moreno-de las Heras vd., 2010). Gabriels (1999), toprak tipinin de erozyonun ölçeklendirilmesini etkileyebileceğini bulmuştur: eğim uzunluğu arttıkça, kumlu tın toprakta birim alan başına toprak kaybı artarken, tınlı kum toprakta azalmaktadır. Gómez vd. (2003) ve Rejman ve Brodowski (2005), farklı uzunluktaki yamaçlarda oyuk geometrisi ve düzlem özelliklerinin değiştiğini ve bunun erozyonun ölçeklendirilmesini önemli ölçüde etkileyebileceğini gözlemlemiştir.

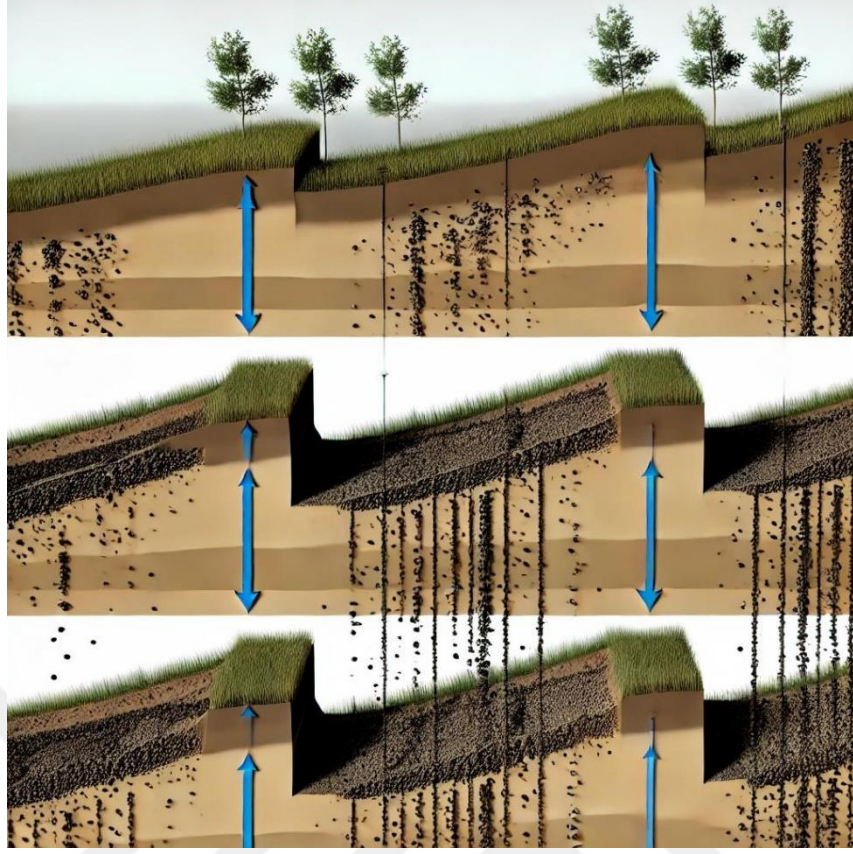


Şekil 1.6. Bitki örtüsü ile şev uzunluğu arasındaki ilişki

1.1.1.7. Toprak kaybı ile şev uzunluğu arasındaki ilişki

Arazi uygulamalarında belirlenen toprak kaybı ile eğim uzunluğu (l) arasındaki ilişki, önemli bir değişkenlik göstermektedir (Şekil 1.7). Özellikle, Laflen ve Moldenhauer (2003), USLE'deki m üssünün yıldan yıla çok geniş bir aralıkta değiştiğini; hatta zaman zaman negatif hale geldiğini (toprak kaybı arttıkça azalmaktadır) ve bazı lokasyonlar için ortalama m değerlerinin 0 (toprak kaybı ile değişmez) ile 0.9 arasında değiştiğini bildirmiştir. Rejman, Usowicz ve Dębicki (1999), %12 eğimli bir silt toprağının çıplak yüzeyinde 4 aylık dönemde ölçülen toprak kaybı üzerinde eğim uzunluğu etkisini incelemiştir. İncelenen 3 farklı eğim uzunluğunda (5, 10 ve 20 m), toprak kaybı 1 artışıyla azalmıştır. Rejman ve ark. (1999), ölçek bağımlılığının, erozyondan toplanan sedimentlerin, ölçüm alanının çıkış kısmından geldiği ve tüm alandan gelmediği için ortaya çıktığını öne sürmüştür. Tarım arazilerinde veya çöl kaplaması ve bitki örtüsü karışımı olan parseller üzerinde, parsel uzunluğu araştırılmış ve toprak kaybı ile l arasında ters bir ilişki olduğu bulunmuştur (Lal, 1988; Parsons vd., 2006).

Toprak ve bitki yönetimi, eğim uzunluğunun toprak erozyonu üzerindeki etkilerini değiştirebilmektedir (Lal, 1988). Bu nedenle, İç Anadolu Bölgesi'nde çıplak yüzeylerdeki toprak kaybı üzerindeki eğim uzunluğu etkisini daha iyi belirlemek amacıyla, eğim uzunluğunun azaltılmasının toprak kaybını sınırlayıcı bir etkisi olup olmadığını incelemek gerekmektedir. Bu değerlendirmeyi olay bazlı zaman ölçeğinde gerçekleştirmek, toprak kaybı ile eğim uzunluğu arasındaki ilişkinin yağış olayının özelliklerine bağlı olup olmadığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, uzun bir süre boyunca olay bazlı incelemeler yapmak, USLE, RUSLE ve WEPP modeller ile yıllık ortalama değerler ilişkilerinin karşılaştırmalarının yapılmasını sağlamaktadır. Akış ve sediment konsantrasyonu bu araştırmalara dahil edilmelidir. Çünkü taşınan sediment miktarı, akış hacmi ile sediment konsantrasyonunun çarpımı ile verilmekte ve bu durum, yüzey akışın yamaç üzerinde homojen veya heterojen olarak oluşmasından bağımsız olarak gerçekleşmektedir (Kinnell, 2008).



Şekil 1.7. Toprak kaybı ile şev uzunluğu arasındaki ilişki

Araştırmacılar, bu karşılaştırmaları yapmak için daha ileri modelleri geliştirmeye çalışmışlardır. Böylece, modeller içindeki karmaşıklığı azaltmayı hedeflemişlerdir. En yaygın olarak kullanılan modeller, Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (USLE; Wischmeier and Smith, 1965, 1978) ve Revize Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (RUSLE; Renard et al, 1997) erozyon modelleridir. USLE, toprak kaybını tahmin etmek için yağış, bitki örtüsü, toprak yapısı, eğim uzunluğu ve eğim gibi faktörleri içeren bir denklem kullanmaktadır. Bu faktörler, toprak erozyonu üzerindeki etkileri temsil etmektedir.

RUSLE ise USLE'nin geliştirilmiş bir versiyonudur ve daha büyük alanlarda kullanılmaktadır. Özellikle, eğim uzunluğu ve eğimin etkilerini daha ayrıntılı bir şekilde ele almaktadır. WEPP model, tıpkı USLE ve RUSLE erozyon modellerinde kullanılan tüm parametreleri algoritmasında mevcuttur. WEPP'in USLE ve RUSLE'ye göre en önemli avantajı hem aşındırma hem de biriktirme işlemlerini hesaba katmasıdır (Polyakov ve ark., 2003). USLE ve RUSLE, yalnızca toprak aşınmasını ön görmektedir (Renard ve ark.,1991; Kinnell, 2017).

Düşük eğim derecelerine sahip homojen eğimlerde, biriktirme olayı, aşınma işlemine kıyasla önemsiz düzeyde olduğundan önemli bir sorun oluşturmamaktadır (Proffitt ve ark.,1991). Ancak WEPP'in bu üstünlüğü, birikimin önemli bir işlem olduğu karmaşık eğimler için dezavantaja dönüştürmektedir (Polyakov ve Nearing, 2003). Akış sonunda biriken sediment, bileşimi yer yer farklılıklar gösterebildiği için kritik bir değişken olan bu durum dolayısıyla su kalitesini belirlemek için büyük önem taşımaktadır (Pieri ve ark.,2007; González ve ark., 2016). Ayrıca, RUSLE ve kalibre edilmemiş WEPP modellerinin her ikisi de tahminlerde bulunurken sediment birikiminde toplam bozulmayı ve taşınmayı hesaba katmamaktadır (Foster ve ark.,1995). Toprak koruma uygulamalarının modellenmesi sedimentlerin yüzey alanı ile ilgili olduğu için bu sedimentlerin taşınımı toprak kayıplarının doğru tahmin edilmesinde çok önemlidir (Bagarello ve Flanagan, 2018).

Dünya nüfusu, 1950'lerden günümüze iki katına çıkmış olup, 21. yüzyılın ortalarında bir kez daha iki katına çıkması beklenmektedir (Corwin ve Wagenet, 1996). Nüfus artışı, gıda ve tarımsal ürünlere olan talebi sürekli artırmaktadır. Tarım arazilerinde üretimi artırma kapasitesi sınırlı olduğundan, birim alandan alınan verimin artırılması, verimliliğin sürdürülebilirliği ve tarım arazilerinin korunması zorunluluk haline gelmiştir. Bu hedefe ulaşmak için doğal kaynakları koruyacak tedbirler alınmalı, sorunları çözmeye yönelik iyileştirme çalışmaları yapılmalı ve kaynaklar ekonomik olarak kullanılmalıdır (Marohn ve ark., 2020).

Tarih açıkça göstermektedir ki, herhangi bir ulusun gücü büyük ölçüde tarımsal kaynaklarına bağlıdır. Aşırı toprak erozyonu bu kaynakları tüketme eğilimindedir. Dolayısıyla, bir ulusun gücüne tehdit oluşturmaktadır. Geçmişin büyük ulusları ve imparatorlukları, toprak ve su kaynaklarının uygun yönetimini ihmal ettikleri için bugün zengin uluslar yerine yoksul uluslar haline gelmişlerdir (Bennett, 1939; Lowderznilk, 1953). Türkiye, bulunduğu coğrafi konumu, iklim ve topografik yapısı nedeniyle erozyona çok hassas arazilere sahiptir. Halkın büyük bir çoğunluğu tarım ile uğraşmaktadır. Özellikle, I ve II sınıf tarım arazileri gibi tarımsal değeri yüksek araziler üzerinde şehirleşmenin ve sanayinin hızla gelişmesiyle, tarım alanları eğimli alanlara doğru kaymaktadır.

Ülkemizde tarım alanlarının %3.8'inde çoraklık, %9'unda drenaj bozukluğu, %13.6'sında taşlılık, %72.1'inde su erozyonu, %1.5'inde ise rüzgar erozyonu görülmektedir (Taysun, 1989). Bu durum, büyük ekonomik zararlara yol açmakta ve erozyon riskini artırmaktadır (Fu et al., 2016).

Erozyon araştırmaları; gelecekte toprakların erozyona uğrama riskini tahmin etmek, erozyonu önlemek için daha etkili yöntemler geliştirmek ve su kaynaklarına taşınan toprak miktarını hesaplamak üzere temel üç amaca odaklanmıştır. Küçük parseller ve havzalardan elde edilen erozyon verileri, birçok araştırmacı tarafından (Zingg, 1940; Staith, 1941; Browning ve arkadaşları, 1947; Musgrave, 1949; Staith ve Whitt, 1948; Van Boren ve Bartelli, 1956) erozyon tahmini yöntemleri geliştirmek için kullanılmıştır. Son yıllarda, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki tüm erozyon verileri bir araya getirilerek analiz edilmiş ve Wischmeier ve arkadaşlarının (1958; 1962) öncülüğünde toprak kaybını tahmin etmek için önemli bir denklem oluşturulmuştur. Bu çalışmalar, erozyonun anlaşılması ve kontrolü konusunda büyük bir adım olmuştur. Ancak, erozyon sürecinin karmaşıklığı ve coğrafi çeşitlilik, daha gelişmiş modellerin geliştirilmesini gerekli kılmıştır. Günümüzde, WEPP ve SWAT (Soil and Water Assessment Tool) gibi modeller, erozyon süreçlerini daha detaylı bir şekilde simüle ederek, daha hassas tahminler yapmamıza olanak tanımaktadır. Bu modeller, iklim değişikliği, arazi kullanımı değişiklikleri ve diğer faktörlerin erozyon üzerindeki etkilerini değerlendirmek için de kullanılmaktadır.

Dünyada çalışmalar devam ederken, ülkemizde erozyon çalışmaları ne zaman başlamıştır? 1980'ler de Türkiye'de toprak ve su kaynaklarını korumaya yönelik programlar geliştirilmiş ve kademeli olarak uygulanmaya başlanmıştır. Zamanla, insani müdahaleler, tarım alanlarının meraya dönüştürülmesi, ekolojik faktörler ve arazi kullanımı gibi faktörlerin etkisiyle bu uygulamalar değişmiştir. Ancak, yüzyılın başlarında iklim değişikliği ve tarımsal verimliliği artırma faaliyetleri ile başlayan stres; yiyecek, kıyafet ve bioenerji gibi ürünler toprak ve su koruma kaynaklarımızı çok yakından etkilemiştir. Türkiye'nin en verimli bölgelerinde, iklim değişikliği ile sıcaklık artışları, sel felaketleri ve çok ciddi yağış olayları meydana gelmeye başlamıştır. Atmosferde, ısıyı hapseden sera gazlarının azalmasıyla, 21 yy. geri kalanında sıcaklıkların artması beklenmektedir. Sıcak bir iklim ve çok fazla ekstrem olaylar, hidrolojik döngünün değişmesine neden olmaktadır. Söz konusu bu durum ürün

verimliliği ve sürdürülebilirliği etkilemektedir. İstenilen toprak erozyon sınırları içerisinde kalması gerekli toprak koruma alanı genişlemektedir. Ürün verimliliği ve toprak erozyonu üzerine gelecek iklim değişikliği senaryolarının potansiyel etkisini tahmin eden yöntemler ve uyum stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu stratejiler, değişen iklim şartları altında etkili, sürdürülebilir ve çevreye duyarlı tarımsal sistemleri içermelidir.

Türkiye’de son 10 yıl boyunca, yağışlar ve ekstrem olayların sıklığı artmıştır. Bu durumun, devam etmesi beklenmektedir. Türkiye’nin pek çok bölgesinde, hava sıcaklığı artma eğilimi gösterirken, yağışların eğilimi belirsiz olup bölgeden bölgeye değişmektedir. Ayrıca, ıslak-kuru bölgeler ve ıslak-kuru mevsimlerin yağışları arasındaki zıtlığın giderek güçlenmesi beklenmektedir. Artan yağışlar ve ekstrem olayların sıklığına bağlı olarak yüzey akış ve toprak kaybında artış, nehir aşağı sedimentasyon problemlerine neden olacaktır. Son yüzyıl boyunca, yapılan tarımsal faaliyetler ve iklim değişikliği sonuçlarına göre; toprak ve su koruma ile ilgili yöntemler iklim değişikliğine çok ayak uyduramamaktadır. Mevcut koruma uygulamalarının değişen iklim koşulları altında etkinliğini değerlendirmek, iklim ve tarımsal etkenler, fizyografik değişkenler, birbirine bağımlılıklar ve geri bildirim mekanizmasını içeren karmaşık bir süreçtir. İklim değişikliğinin; yağış-yüzey akış, erozyon sistemi, ürün çeşidi, ekim ve hasat tarihleri ile amenajman gibi tarımsal uygulamaları etkilediği görülmüştür. İklim değişikliğinin etkisini belirlemek ve daha fazla koruma stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Bundan dolayı, Türkiye’nin farklı iklim bölgesinde bulunan sürdürülebilir toprak ve su kaynaklarının yönetimi çalışmalarında uygun bir erozyon kontrolü için, erozyona uygun alanların özelliklerinin çok iyi bilinmesi ve bu özellikleri etkileyen faktörlerin tanımlanması esastır. (Demir, 2016). İnsanların sürekli olarak bitki örtüsünü tahrip etmesi ve uygun özelliklere sahip olmayan toprakları tarıma açması, erozyona ortam hazırlamaktadır. Dünya sıralamasında Türkiye toprakları en çok erozyona uğrayan ülkelerin başında yer almaktadır (Erol ve ark., 2009). Ülke topraklarının %7 sinde hafif, %20 sinde orta, %63 ünde şiddetli ve çok şiddetli erozyon görülmektedir. Türkiye’de her yıl yaklaşık 600-800 ton $\text{km}^{-2}\text{yıl}^{-1}$ verimli toprak, akarsularla denizlere, göllere ve barajlara taşınmaktadır. Dünyada meydana gelen erozyon miktarıyla karşılaştırıldığında

bu değerin, 368 ton yıl⁻¹ olan dünya ortalamasının yaklaşık iki katına eşit olduğu görülür (Erol ve ark., 2009).

Bu çalışmada, Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü sahası içerisinde yer alan farklı uzunluğa sahip parseller üzerinde aşağıda verilen araştırma sorularına cevap aranacaktır:

1. Şev uzunluğunun toprak kaybı üzerindeki etkileri nelerdir?
2. Kalibre edilmemiş WEPP Hillslope modeli, farklı şev uzunluklarına sahip arazilerde toprak kaybını doğru şekilde tahmin edebilir mi?
3. Modelin performansı gözlemlenen verilerle karşılaştırıldığında ne düzeydedir?
4. Toprak kaybı tahminlerinde WEPP Hillslope modelinin kullanılabilirliği sürdürülebilir arazi yönetimi stratejileri geliştirmeye nasıl katkı sağlayabilir?
5. Kalibre edilmemiş WEPP Hillslope modelinin zayıf ve güçlü yönleri nelerdir?

Bu sorulara yanıt ararken, farklı uzunluklardaki şev arazilerinde toprak kaybını tahmin etmek için kalibre edilmemiş WEPP Hillslope modelinin kullanılması ve bu modelin performansının gözlemlenen saha verileriyle karşılaştırılması temel metodolojik yaklaşımı oluşturacaktır. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de şevin uzunluğunun erozyona olan etkisinin değerlendirildiği çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu tez ile söz konusu eksikliğin giderilmesi amaçlanmaktadır. Tez kapsamında elde edilecek bulgular, şev uzunluğunun toprak kaybına olan etkisi hakkında daha kapsamlı bir anlayış geliştirmeye katkıda bulunacaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Toprak erozyonuna ilişkin araştırmalar, eğim uzunluğunun ve eğimin toprak kaybı üzerindeki etkilerini ele alarak farklı yaklaşımlar ortaya koymuştur. İlk olarak, Wischmeier ve Smith (1978) tarafından geliştirilen USLE modeli, eğim %1'in altında olduğunda üstel değeri 0.2 olarak belirlemiştir. RUSLE modelinde ise, eğim açısına bağlı olarak üstel değer 0.02 ile 0.8 arasında değişmektedir (Renard ve ark., 1991). Bu durum, üstel değer yalnızca şev uzunluğundan değil, aynı zamanda eğimden de etkilendiğini göstermektedir. Liu ve ark. (2000) dik yamaçlarda yaptıkları çalışmada, USLE ve RUSLE modellerine göre daha düşük üstel değerler bulmuşlardır. Laflen ve Moldenhauer (2003), üstel değer yıl içerisinde büyük farklılıklar gösterdiğini ve hatta negatif değerler alabildiğini belirtmişlerdir. Xu ve ark. (2009) ise ilginç bir şekilde, birim alana düşen toprak kaybı ile şev uzunluğu arasındaki ilişkinin ters bir eğilim gösterdiğini ve üstel değer negatif olduğunu bulmuşlardır. Bagarello ve Ferro (2010) ise farklı uzunluklardaki çıplak parsellerde yaptıkları deneylerde, üstel değer 0.91 ile 0.32 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Bagarello ve ark. (2013) olay bazlı toprak kaybını inceleyerek, üstel değer 1.88'e kadar ulaşabildiğini göstermiştir. Bu sonuçlar, üstel değer ve dolayısıyla şev uzunluğunun toprak kaybı üzerindeki etkisinin karmaşık olduğunu ve farklı koşullar altında farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Bryan ve Poesen'in (1989) çalışmasında, farklı eğim uzunluklarının yüzey akışı, sızıntı ve rill gelişimi üzerindeki etkileri laboratuvar deneyleri ile incelenmiştir. Araştırmada, 2.39m, 7.18m ve 17m uzunluğundaki eğimlerde yapılan deneyler kullanılarak, yağış yoğunluğu ve toprak yüzeyindeki tabaka gibi faktörlerin sızıntı ve akış oranlarını nasıl etkilediği analiz edilmiştir. Sonuçlar, yüzey akışının basit bir eğim uzunluğu ve yağış fazlası fonksiyonu olmadığını, bunun yerine toprak yüzeyindeki tabaka, rill oluşumu ve oyulması gibi karmaşık süreçlerle şekillendiğini göstermektedir.

Gabriels, D. (1999), yağış simülatörü kullanarak yaptığı arazi çalışmasında, eğim uzunluğunun kumlu tın ve tınlı kum topraklardaki toprak kaybı üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmanın sonuçları, her iki toprakta da toplam toprak kaybının eğim uzunluğunun artmasıyla birlikte arttığını, ancak birim eğim uzunluğuna düşen toprak kaybının kumlu tında artarken tınlı kumda azaldığını göstermektedir.

Ayrıca, 0.05mm'den küçük agregat boyutları için eğim uzunluğunun etkisinin daha belirgin hale geldiği gözlemlenmiştir.

Chaplot ve Bissonnais (2003), yağış şiddeti, eğim uzunluğu ve eğim açısının, tarım arazilerinde interrill erozyon üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada, 1 ve 5m uzunluğunda ve %4-8 eğimli arazilerde doğal ve simüle edilmiş yağışlarla akış özellikleri ve toprak kayıpları değerlendirilmiştir. Sonuçlar, yüzey akışın yağış şiddeti, eğim açısı ve uzunluktan etkilendiğini, toprak kayıplarının ise yağış şiddeti ve eğim uzunluğuyla ilişkili olduğunu göstermiştir. Yüksek yağış şiddetinde 1 ve 5m parseller arasındaki farkların azalması, yüzeyde biriken suyun kinetik enerjisiyi azaltarak ayrışmayı ve taşınmayı yavaşlattığını düşündürmektedir.

Birçok araştırmacı, birim alana düşen toprak kaybı ile şev uzunluğu arasındaki ilişkinin basit bir doğrusal ilişki olmadığını göstermiştir. Rejman ve ark. (1999), Raclot ve ark. (2009) ile Xu ve ark. (2009), daha uzun şevlerde birim alana düşen toprak kaybının azaldığını gözlemlemişlerdir. Bu durum beklenenin tam tersidir. Çünkü genellikle daha uzun şevlerde erozyonun artacağı düşünülür.

Yair ve Raz-Yassif (2004) tarafından yapılan çalışmada, kurak bölgelerdeki erozyon süreçleri incelenmiştir. Çalışmada, beklenenin aksine, uzun yamaçlarda erozyonun daha az olduğu ve tortullaşmanın daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, yağışların zaman içindeki değişkenliğinin yüzey özellikleri üzerindeki etkisiyle açıklanmıştır. Araştırmacılar, erozyonun sadece yamaç eğimi ve uzunluğuyla değil, aynı zamanda iklimsel ve toprak özellikleri gibi birçok faktörle de ilişkili olduğunu vurgulamaktadırlar. Bu sonuçlar, erozyon modellerinin geliştirilmesinde yeni bir bakış açısı sunmaktadır.

Rejman ve Brodowski (2005) ise, rill erozyonunun şev uzunluğundan daha az etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Moreno-de las Heras ve arkadaşları (2010) ise, bu ilişkinin daha da karmaşık olabileceğini göstermiştir. Farklı bozulmuş eğimlerde, birim alana düşen toprak kaybı ile şev uzunluğu arasındaki ilişki üstel azalan, doğrusal artan veya üstel artan eğilimler gösterebilmektedir.

Sorunu daha da karmaşık hale getiren bir diğer bulgu ise, Rejman ve Usowicz (2002) ile Parsons ve ark. (2006) tarafından yapılan çalışmalardır. Bu çalışmalarda, belirli bir kritik şev uzunluğundan sonra (yaklaşık 5-7m), birim alana düşen toprak kaybının azalmaya başladığı gözlemlenmiştir. Bu karmaşık ilişkiyi daha da derinleştiren çalışmalar da bulunmaktadır. Bagarello ve Ferro (2010), erozyonun iki temel tipi olan yanal erozyon (yüzey akışı ile taşınan toprak) ve rill erozyonu (olukların oluşumu ve derinleşmesi) arasındaki farklılıkları incelemişlerdir. Bulgularına göre, şev uzunluğu arttıkça yanal erozyon azalırken, rill erozyonu artmaktadır. Bu sonuçlar, erozyon sürecinin karmaşık olduğunu ve farklı ölçeklerde farklı davranışlar gösterdiğini vurgulamaktadır.

Bagarello ve ark. (2018a, 2018b) çalışması, toprak erozyonu sürecinde şev uzunluğunun etkisini daha iyi anlamak amacıyla boyut analizi ve eksik benzerlik koşulu gibi güçlü matematiksel araçları bir araya getirmiştir. Bu araştırmada, farklı ölçeklerdeki erozyon olayları arasında genel geçerliliği olan matematiksel ilişkiler kurmak için üstel bir ölçekleme ilişkisinin uygunluğu değerlendirilmiştir. Boyut analizi, erozyon sürecindeki temel fiziksel değişkenlerin (uzunluk, kütle, zaman gibi) boyutlarını belirleyerek, bu sürecin matematiksel ifadesinin genel yapısını ortaya koyarken; eksik benzerlik koşulu ise farklı ölçeklerdeki erozyon olayları arasında benzerliklerin olup olmadığını ve bu benzerliklerin hangi koşullar altında geçerli olduğunu incelemiştir. Elde edilen bulgular, özellikle akış ve toprak kaybı gibi değişkenler için üstel ölçekleme ilişkisinin geçerliliğini desteklemektedir. Bu sayede, farklı coğrafi bölgelerdeki erozyon süreçleri hakkında daha genelleyci sonuçlar çıkarılabilmekte ve erozyon riskini değerlendirmek için daha etkin modeller geliştirilebilmektedir. Ancak, sediment konsantrasyonu gibi diğer değişkenler için bu ilişkinin tam olarak geçerli olmadığı da gözlemlenmiştir. Bu durum, erozyon sürecinin karmaşıklığı ve farklı değişkenlerin etkileşiminin önemini bir kez daha vurgulamaktadır.

Türkiye'de CLIGEN iklim modelinin performansını değerlendiren çalışmalar oldukça sınırlıdır. . Demir ve ark. (2018), Tokat meteoroloji istasyonundan 2005 ve 2015 yılları arasındaki günlük yağış verilerini CLIGEN yağış modeli kullanarak simüle etmiş ve gözlemlenen verilerle karşılaştırmıştır. Sonuçlar, CLIGEN'in günlük yağış verilerini tahmin etmede sınırlı doğruluk gösterdiğini, ancak aylık ve yıllık yağış

toplamlarını tahmin etmede iyileştirilmiş performans sergilediğini ortaya koymuştur. Özellikle, modelin gözlemlenen günlük yağışları, özellikle bahar ve kış aylarında, genellikle düşük tahmin ettiği; ancak yıllık toplam ortalama ve aylık ortalama yağışları simüle etmede başarılı olduğu belirtilmiştir. Genel olarak, bu çalışma, Tokat ilindeki iklim koşulları altında CLIGEN modelinin performansını kapsamlı bir şekilde değerlendirmiş ve modelin yeteneklerini ve sınırlamalarını vurgulamıştır. Demir ve Oğuz (2019), Tokat ilinde CLIGEN iklim modelinin mevsimsel yağış verilerini simüle etme performansını değerlendirmiştir. Çalışma, CLIGEN modelinin Tokat'ın kuru mevsimindeki yağışı başarılı bir şekilde tahmin ettiğini göstermiştir. Özellikle, modelin kış ve bahar yağışlarını doğru bir şekilde tahmin ettiği, gözlemlenen ve tahmin edilen değerlerin yakın bir şekilde örtüştüğü belirtilmiştir. Ancak, modelin yaz mevsiminde performansının daha az etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Wu ve arkadaşlarının (2021) yaptığı çalışma, yağış-akış süreçleri sırasında şev uzunluğunun toprak erozyonu üzerindeki değişken ölçek etkilerini incelemiştir. Araştırmanın bulgularına göre, şev uzunluğunun interrill erosiona olan etkisi negatif bir eğilim göstermekte, yani şev uzunluğu arttıkça arazi erozyonu azalmaktadır. Buna karşın, rill erosion şev uzunluğu arttıkça artış göstermektedir. Bu ölçek etkisi, farklı yağış süreleri, yoğunlukları ve toprak özelliklerine bağlı olarak dinamik ve değişken bir yapı sergilemektedir. Özellikle, yağış süresi ve yoğunluğunun arazi erozyonuna etkisi belirgin olup, şerit erozyonu ise daha çok toprak tipi, toprak kritik kesme gerilimi ve sediment taşıma katsayısı gibi faktörlerden etkilenmektedir. Bu çalışma, farklı erozyon türleri ve çevresel koşullar altında şev uzunluğunun erozyon üzerindeki etkilerinin çeşitlilik gösterdiğini ve bu konudaki ölçekleme ilişkilerinin karmaşıklığını ortaya koymuştur.

Dursun ve Babalık (2023), geotekstil denemeleri kullanılarak toprak kayıplarını tahmin etmişler ve elde edilen verileri GEO kalibre edilmemiş WEPP modeli ile karşılaştırılmışlardır. Tarım, orman ve mera alanlarında gerçekleştirilen denemelerde, geotekstil parsellerle toprak kayıpları ve sediment miktarları ölçülmüş, sonuçlar gözlenen değerlerle karşılaştırılmıştır. Model havzaya kurulan geotekstil parsellerinde toplam erozyon, ilk yıl 3.17 ton/ha/yıl, ikinci yıl ise 2.56 ton/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. Geo kalibre edilmemiş WEPP modeli ise yıllık ortalama toprak kaybını 2189.7 ton/yıl, birim alandaki kaybı 16.70 ton/ha/yıl ve yıllık ortalama sediment

verimini 0.362 ton/ha/yıl olarak tahmin etmişlerdir. Bu bulgular, geotekstil denemeleri ve model verilerinin erozyon ölçümünde nasıl kullanılabileceğine dair önemli bilgiler sunmaktadır.

Bu bulgular, erozyon süreçleri ve su yönetimi anlayışına önemli katkılar sağlamaktadır. Ayrıca, eğim uzunluğuyla ilgili süreçlerin farklı topografik ve hidrolik koşullarda nasıl değişebileceğine dair önemli ipuçları sunmaktadır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Ankara Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü

Araştırma Ankara- Eskişehir karayolu üzerinde, Ankara'ya 10 km uzaklıkta bulunan Ankara Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü arazisinde batı bakılı çakılı parsel üzerinde yürütülmüştür. Araştırma parselleri N 39° 52' 15" ve E 32° 44' 20" (Şekil 3.1) koordinatları arasında yer almaktadır. Araştırma yerinin denizden yüksekliği 920 m'dir.



Şekil 3.1. Araştırma yeri yer buldur haritası

3.1.2. Araştırma Yerinin İklim Özellikleri

Çalışma alanı olarak seçilen Ankara-Beytepe serisi geniş arazisinde bulunmakta olup yer yer iklim farklılıkları görülür. Güneyde, İç Anadolu ikliminin karakteristik özellikleri olan step iklimi hüküm sürerken; kuzeyde ise, ılıman ve yağışlı Karadeniz ikliminin etkisi görülebilir. Karasal ikliminin hâkim olduğu bu bölgede kış sıcaklıkları düşük, yaz ise sıcak geçer. Kış mevsimini oluşturan Aralık, Ocak ve Şubat aylarında ortalama sıcaklıklar çoğunlukla sıfırın altına düşer ve kar yağışları oldukça yaygındır. Ankara'nın beyaz bir örtüyle kaplanması bu mevsimde tipiktir (Çizelge 3.1).

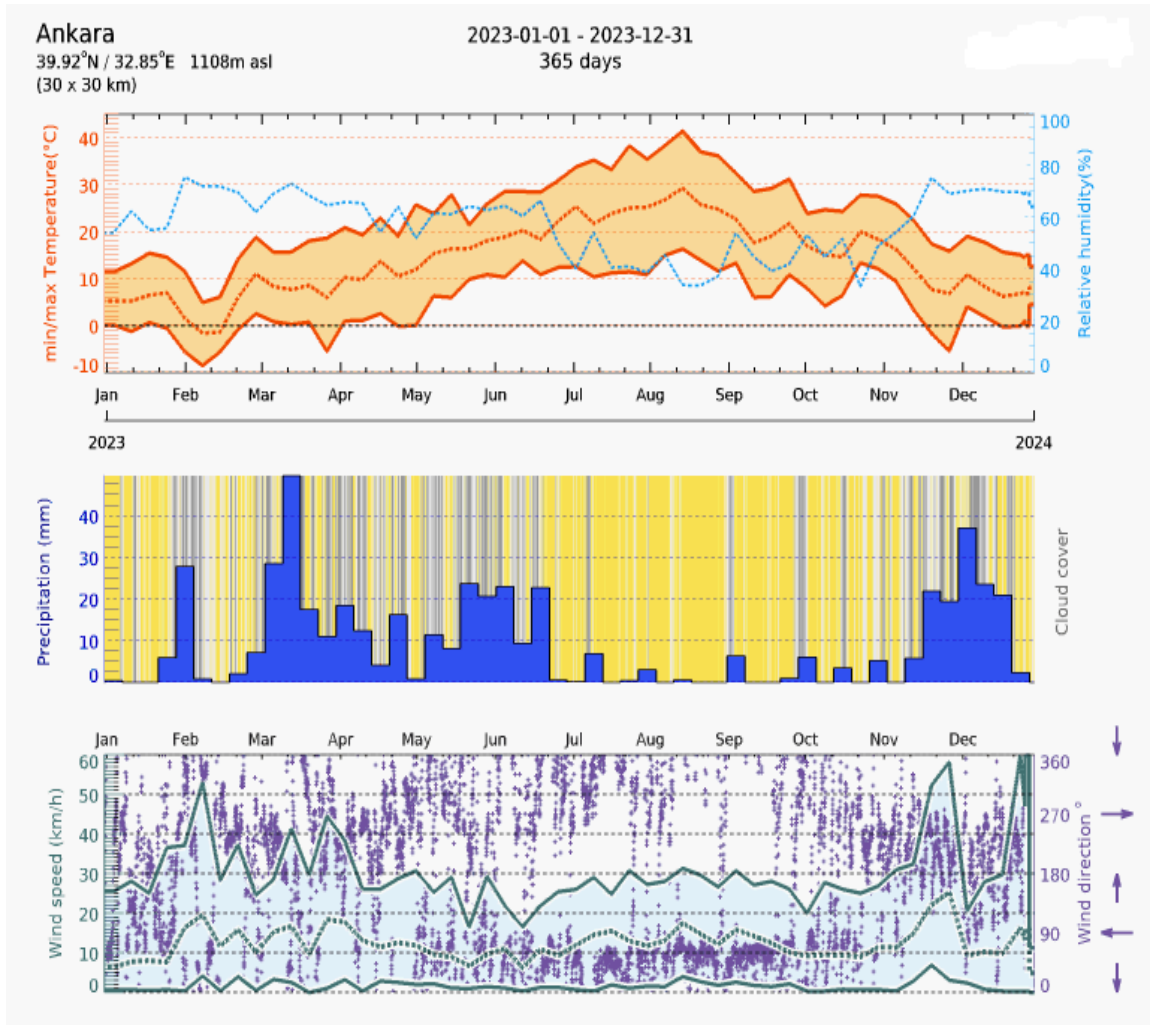
Yaz mevsimini karakterize eden Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında ortalama sıcaklıklar genellikle 30°C'nin üzerindedir. Bu dönemde yağış miktarı düşer ve kurak bir hava hüküm sürer.

Ankara'nın genel olarak düşük nem oranına sahip olması, yaz aylarında bu kuraklık hissini artırır. Bölgenin yapısı gereği özellikle kış aylarında sis olayı oldukça fazla görülür ve hayatı etkiler. İl ölçeğinde ortalama sıcaklık 12.6 °C olup, yıllık ortalama yağış miktarı 413.6 mm'dir. En yüksek sıcaklık değeri 31 °C ve en düşük sıcaklık -2.2 °C olarak tespit edilmiştir. Don olayı görülen gün sayısı 60–117, karlı günler sayısı ise yılda 35.3 gündür. En yüksek kar kalınlığı 33 cm olarak tespit edilmiştir. (Şekil 3.2). Yağışlar genellikle kış aylarında kar şeklinde görülür, bu da su kaynakları yönetimi ve tarım üzerinde etkili olabilir. Ankara'nın iklimini etkileyen en önemli iklim faktörlerinden birisi de rüzgardır. Özellikle kış aylarında soğuk hava dalgalarının ve kar fırtınalarının getirdiği rüzgarlar, bu dönemde hissedilir.

Ankara'nın iklim özellikleri, tarım, su kaynakları yönetimi, enerji tüketimi ve genel çevresel koşullar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ancak, iklim değişiklikleri ve yıl içindeki mevsimsel dalgalanmalar da dikkate alınmalıdır. Çünkü, bu faktörler Ankara'nın iklimini belirlemede önemli rol oynamaktadır.

Çizelge 3.1. Ankara meteoroloji istasyonu uzun yıllık iklim verileri (DMİ, 2068 - 2018)

Meteorolojik	A y l a r												
Veriler	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Yıllık
Ortalama Sıcaklık, °C	1.8	3.4	7.5	12.5	16.4	19.8	22.4	22.3	18.8	13.7	7.6	3.5	12.5
Maksimum. Sıcaklık, °C	20.2	22.8	31.1	33.5	36.1	38.5	45.0				27.6	23.0	45.0
Minimum Sıcaklık, °C	-23.4	-22.1	-21.2	-4.5	0.0	3.2	6.1	3.4	7.5	12.5	-8.3	-21.0	-7
Donlu Gün Sayısı	8.3	6.0	2.2	0.2	-	-	-	-	-	-	0.8	4.7	22.2
Yağış, mm	14.8	15.8	16.1	20.5	16.9	9.6	2.5	1.9	7.2	17.6	19.5	18.5	160.9
Nispi Nem, %	77.6	74.6	73.1	72.8	73.9	71.9	70.9	73.9	77.2	81.5	82.3	79.1	75.7



Şekil 3.2. Ankara meteoroloji istasyonu uzun yıllık iklim verileri

3.1.3. Toprak Özellikleri

3.1.3.1. Araştırma serisinin tanımı

Ankara İlinin toplam yüzölçümü 25.437 km²'dir. Ovalık bir alanda kurulan ilin yüz ölçümünün yaklaşık %50'sini tarım alanları, %28'ini ormanlık ve fundalık alanlar, %12'sini çayır ve meralar, %10'unu ise tarım dışı araziler teşkil etmektedir. Çalışma alanının toprak özelliklerine ait bilgiler Çizelge 3.2'de verilmiştir. Toprak taksonimisine göre Aridisol olarak sınıflandırılmıştır. Profil özellikleri ise Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.2. Çalışma alanının toprak özelliklerine ait bilgiler

Yeri	Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü Arazisi			
Rölyef	Dalgalı			
Eğim	% 2-12			
Ana Materyal	Killi kireçli çökeltiler			
Arazi Kullanım Şekli	Meyve bahçesi kuru tarım			
Vejetasyon	Kiraz ve buğday			
Toprak Grubu	Kahverengi BTG (1938 Amerikan sınıflama sistemine göre)			
Seri	Ordo	Alt Ordo	Büyük Grup	Alt Grup
Beytepe	Aridisol	Argid	Natrargid	Petronodic Natrargid

Çizelge 3.3. Beytepe serisinin profil tanımlaması

H orizon	D erinlik (cm)	Tanımı
Ap	0-9 cm	Hafif nemli iken soluk kahve (10YR 6/3), nemli iken kahve (10 YR 4/3); killi, orta kaba granüller ve orta ince yuvarlak köşeli blok, kuru iken hafif sert – sert, nemli iken dağılğan – sıkı, yaş iken yapışkan, plastik seyrek orta miktarda ince kökler, bol ince gözenekler orta miktarda porlar, %10’a kadar 1-5 + mm çaplı yuvarlanmış veya hafif köşeli iri kum ve çakıl, orta kireçli, kesin dalgalı sınır.
B ₁	9-42 cm	Nemli iken koyu kahverengi (10 YR 4/3); kil, yerinde masif, dışarıda kuvvetli kaba yuvarlak, köşeli blok, kuru iken sıkı, nemli iken dağılabilir, yaş iken çok yapışkan, plastik, seyrek ince kökler, orta miktarda ince porlar, seyrek mezoporlar, % kadar 1-5 + mm çaplı yuvarlanmış veya hafif köşeli iri kum ve çakıl, seyrek yaklaşık 5 cm çaplı yuvarlak çakıl; çok kireçli, yaygın, küçük-orta çaplı, belirli kireç lekeleri, kesin dalgalı sınır.
B ₂₁	42-52 cm	Nemli iken koyu sarımsı kahve (10 YR 4/4) kil; orta, ince-orta ve yuvarlak köşeli blok, dağılabilir, ıslak iken çok yapışkan, plastik seyrek ince kökler, orta-bol ince porlar, çakıl seyrek, yaygın kireç çiçeklenmeleri, kuvvetli köpürme, kesin dalgalı sınır.
B ₂₂	52-99 cm	Nemli iken koyu kahverengi (10 YR 4/4), ıslak iken çok yapışkan, plastik, seyrek ince kökler, seyrek ince porlar ve çok seyrek mezoporlar, (7.5 YR7/8) beyaz kireç çiçeklenmeleri; sıkışma dolayısıyla oluşan çok ince kil zarları mevcut, seyrek, yuvarlak iri çakıllar, çok kuvvetli köpürme, çok seyrek 0-5 cm çaplı solucan delikleri,; 0.5 cm çaplı sekonder belirli kireç lekeleri.
C ₁	99-120 cm	Nemli iken koyu kahverengi-koyu sarımsı kahve

3.1.4. Bitki Örtüsü

Ankara/Beytepe'nin iklim şartları ve topografik yapısı nedeniyle, ilde bitki örtüsü olarak bozkır ve orman bulunur. Bozkır bölgelerde ağaç hemen hiç bulunmaz, bir tek akarsu kıyılarında iğde, söğüt ve kavak ağaçları bulunur. Bozkırda genelde dikenli çalılar ve otlar vardır. Ayırık otu, geven, sorguç otu, üzerlik, katırtırnağı, yabancı arpa, püsküllü brom, yavşan otu, gelincik, papatya, hatmi, kekik, sütleğen, ballıbaba, kuşburnu ve böğürtlen burada bulunan başlıca otlar arasında sayılabilir (Anonim, 2024).

3.2. Yöntem

3.2.1. Toprak Örneklerinin Alınması ve Yapılan Analizler

Beytepe Serisi toprak dosyasını oluşturmak için 1967-1996 yılları arasında yapılan analiz sonuçları kullanılmıştır. Toprak örnekleri 0-20 cm derinliğinden alınmıştır. Genellikle düşük bir tuz içeriğine sahip olup, hafif alkali topraktır. Düşük bir organik madde içeriğine sahiptir. Kireç içeriği yüksek olup, kumlu siltli bir tekstür yapıya sahiptir. Organik madde Modifiye edilmiş Walkley-Black Yöntemi (Kacar, 2009), kation Değişim Kapasitesi (KDK) Sodyum asetat yöntemi ile (Chapman ve Pratt 1961, Jackson 1958), toprakların kil, silt ve kum fraksiyonları Bouyoucus hidrometre yöntemi ile (Bouyoucus, 1951), toprakların erozyona karşı aşınma duyarlılıklarını belirlemek için çok ince kum analizi (0.10-0.05) mm arasındaki çapların yüzde dağılımını elek analizi ile (Soil Survey Staff, 1951) belirlenmiştir.

3.2.2. Yüzey Akış ve Toprak Kayıplarının Belirlenmesi

Kalibre edilmemiş WEPP Hillslope modeli kullanılarak, Beytepe serisi USLE-K parseli üzerindeki farklı eğim uzunluklarına (22m, 44m, 66m, 88m) sahip yamaçlarda meydana gelen toprak kaybı ve yüzey akışı miktarları belirlenmiştir. Flanagan ve Nearing (1995) tarafından geliştirilen bu model iklim, toprak, bitki örtüsü, sulama, hidroloji ve erozyon gibi çok sayıda faktörü dikkate alan kapsamlı bir yapıya sahiptir. Model, kinematik dalga denklemi temel alınarak yamaç boyunca suyun hareketi ve toprak kaybının tahminini sağlar. Çalışmada, modelin dört ana giriş dosyası (iklim, toprak, şev ve amenajman) kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

3.3. Water Erosion Prediction Project Model

Ulusal Toprak Erozyon laboratuvarı (NSERL), suyla meydana gelen toprak erozyon süreçlerini, kontrol ve tahminini içeren araştırmalar yapan bir devlet kurumudur. Binası Purdue üniversitesi alanı içeresindedir. Kurum çalışanları 1950 yılında USLE, 1970 yılında CREAM ve 1980 yıllarının sonlarında RUSLE ve 1985 yılında ise WEPP Hillslope modeli geliştirmişlerdir. Halen günümüzde WEPP Hillslope modelin sürdürülebilirliği, algoritması ve uygulanabilirliği üzerine yoğun çalışmalar devam etmektedir.

WEPP Hillslope model, önemli hidrolojik ve fiziksel erozyon süreçlerini simüle eden sürece dayalı bir modeldir. İklim verilerini simüle etmek için uzun yıllara ait gözlenen veri setini kullanmaktadır. Eğer, herhangi bir gün için yağış görülürse, model bu yağışa bağlı olarak infiltrasyon ve yüzey akışı hesaplamaktadır. Eğer yüzey akış tahmin edilirse, yağmur damlalarının etkisiyle meydana gelen toprak ayrışmasının oranı ve hareket eden su miktarı tahmin edilmektedir.

Simülasyon periyodu süresince bütün bireysel yağış sonuçları, uzun süreli yüzey akış, toprak kaybı ve sediment verimi tahminlerini oluşturmak için toplanır. Ayrıca, model sonuçları dönüşüm periyotlarını hesaplamak ve risk analizini değerlendirmek için kullanılmaktadır. WEPP Hillslope model çoğunlukla, yaklaşık olarak 260 ha'dan küçük havzalarda ya da yamaç arazisi üzerinde meydana gelen toprak kaybı ve yüzey akışı tahmin etmek için kullanılmaktadır. Aşırı yağış, kar erimesi ya da sulama sularından ortaya çıkan yüzey akıştan dolayı meydana gelen rill, interill, gully erozyonunu tahmin etmektedir. Bu süreçlerin simüle edilmesinden dolayı, uygulama alanının büyüklüğü modelin algoritmasında sınırlandırılmıştır.

3.3.1. Model Girdilerinin Hazırlanması

3.3.1.1. İklim dosyası (climate file)

WEPP Hillslope (Water Erosion Prediction Project) modeli, erozyon tahminlerinde kullanılan ve farklı iklim veri formatlarını destekleyen bir modeldir. İki farklı iklim veri türü kullanır.

Bunlardan biri breakpoint adı verilen veri seti olup, diğeri ise McGehee ve arkadaşlarının 2020 yılında tanımladığı 'günlük ip-tp formatı' verisidir (pik yoğunluk faktörü ve pik zaman faktörünü kullanır). Bu çalışmada, nokta verilerin bulunamaması nedeniyle daha yaygın kullanılan günlük ip-tp formatı tercih edilmiştir. Bu format, yağış olaylarının şiddet ve süre gibi özelliklerini içermektedir. WEPP Hillslope erozyon modeli, Nicks ve ark. tarafından (1995) geliştirilen CLIGEN adı verilen stokastik bir iklim modelini kullanmaktadır. CLIGEN, belirli bir coğrafi nokta için yağış, pik zaman, pik yoğunluk, yağış süresi, maksimum ve minimum sıcaklık, çığ noktası sıcaklığı, rüzgâr hızı ve yönü ile güneş radyasyonu gibi çeşitli iklim parametreleri için günlük tahminler üretir (Srivastava ve ark., 2019).

Bu çalışmada, WEPP Hillslope modelinde iklim dosyası oluşturmak için Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü İstasyonuna ait 1967-1996 yılları arasına ait periyot 27 yıl yıllık günlük maksimum ve minimum sıcaklık, günlük yağış, rüzgârın hızı ve yönü, solar radyasyon ile çiy noktası sıcaklığı parametreleri kullanılarak iklim dosyası hazırlanmıştır. CLIGEN iklim modeli için gerekli parametrelerin simülasyonunda cligen5.3v versiyonu kullanılmıştır.

3.3.1.2. Eğim dosyası (slope file)

Yamaç arazisine ait tüm özellikler, bir profilin en üst ve en alt kısmını tanımlamak için kullanılmaktadır. Şev dosyasına ait veri giriş prosedürü genellikle, daha büyük bir veri seti veya sistem içerisindeki belirli bölümlerle ilgili bilgilerin girilmesini içermektedir.

3.3.1.3. Şevin şekli

Genellikle WEPP Hillslope modelin bir şevi tanımlama seçenekleri şunlardır:

Düz: Profil bir yamacın zirvesinde başlar ve eğim oranı burada 0'dır. Default olarak isimlendirilir.

Uniform: Profilin en üst noktasının eğimi, profilin başlangıç noktasının eğimi ile aynı değere sahiptir.

Daha düz: Profilin en yüksek noktasının eğim değeri, profilin başlangıç noktasının eğiminin yarısı kadardır (Konveks).

Dik: Profilin en yüksek noktasının eğimi, profilin en alt bölümündeki eğim değerinin iki katı kadardır (Konkav).

Eğer bir yamaç uniform olarak seçilirse, ilk segmentin en üstünde bir geçit eklenmez. Çünkü, tepenin eğim değeri profilin başlangıç eğimi ile aynıdır. Bu durumda, profilin başlangıcı ile en üst noktası arasındaki bir değişim ya da geçiş noktasına ihtiyaç duyulmaz.

3.3.1.4. Dönüşüm

WEPP Hillslope modelde kullanılan “dönüşüm” ifadesi; tüm uniform eğimin ne kadar kısmının eğimli alanlara dönüştüğünü ifade etmektedir. Temel amacı, uniform yamaçların farklı eğimlere yumuşak bir geçiş yapmasını sağlamaktır. Bir profil içerisindeki küçük bir %dönüşüm değeri, yamaç üzerinde uniform ve belirgin bir eğimlerin olduğunu ifade ederken; daha büyük bir % değeri doğal görünen ve kavisler içeren bir yamacı ifade etmektedir. Dönüşüm yaptıktan sonra, profil eğrisinin gerçek alanı yeterince temsi edip etmediğini görmek için, profil grafiğini ön izlememiz gerekmektedir. Dönüşüm aralığı %2-90 olup, önerilen %20’dir.

3.3.1.5. Görünüş

Profilin Kuzey’den saat yönünde, derece cinsinden yöneldiği yönü gösterir. Örneğin; doğuya bakan bir yamaç 90°’lik görünüşe sahip olurken, güneydeki 180°’lik bir açıya sahiptir. Görünüş aralığı 1 ila 360°’dir.

3.3.1.6. Profil genişliği

Profil genişliği, simülasyonda kullanılan yamacın genişliğidir. Genişlik değeri, yamaç profilinden gelen, toplam sedimantasyonun hesaplanmasında kullanılmaktadır. Genişlik değeri, çoğu durumlarda alanın genişliğinden daha küçük olacaktır. Simülasyon sonuçlarının tutarlı olması için girilen değer yamaç uzunluğu ve genişlik değerleri ile tutarlı olması gerekmektedir. Profil genişliği fit veya metre cinsinden seçilebilir. WEPP Hillslope modele 50-100m uzunluğunda yamaç bilgilerinin girilmesi

önerilmektedir. Aksi durumda, model toprak kayıplarını yüksek tahmin edebilmektedir. Genellikle, yamaç üzerinde ortalama toprak kaybı ile maksimum uzunluk arasında ters bir ilişki vardır. Bu durum, erozyon arttıkça yamacın tepesinden tabana kadar ki mesafenin azalacağını göstermektedir. Söz konusu bu ilişki daha çok, genellikle uzun yamaçların yüzey akış, yerçekimi, toprak yapısının bozulması ve kayması gibi faktörlerden dolayı daha yüksek erozyona maruz kalması ile sonuçlanmaktadır.

Ankara Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü yamaç arazilerine ait bilgiler Tarım ve Orman Bakanlığından temin edilecektir.

3.3.1.7. Toprak dosyası (soil file)

WEPP Hillslope modelin toprak dosyası (.soil), model tarafından sunulan bir ara yüz aracılığıyla oluşturulmaktadır. Araziden alınan bozulmuş toprak örneklerinden laboratuvar analizleri ile belirlenen kum, kil, silt, organik madde, kaya parçacıkları ve katyon değişim kapasitesi gibi toprak özellikleri sonuçları toprak dosyasına girilmektedir.

Soil Database Editor: Beytepe.sol

Soil File Name: Beytepe Soil Texture: CLAY Albedo: 0.28 Initial Sat. Level: [%] 65

Interrill Erodibility: 5.724e+006 (Kg*s/m**4) ☐ Have Model Calculate

Rill Erodibility: 0.0075 (s/m) ☐ Have Model Calculate

Critical Shear: 3.5 (Pa) ☐ Have Model Calculate

Eff. Hydr. Conductivity: 5.52 (mm/h) ☐ Have Model Calculate

Layer	Depth(mm)	Sand(%)	Clay(%)	Organic(%)	CEC(meq/1	Rock(%)
1	254	18.3	26.2	1.900	53.3	0.8
2	1143	18.3	26.2	1.900	53.3	0.8
3	1727	18.3	26.2	1.900	53.3	0.8
4						
5						
6						
7						
8						
9						

☐ Use Restricting Layer

Anisotropy Ratio: 25 Ksat (mm/h): 0

☐ English Units

Print Save As Save Cancel Help

Şekil 3.3. Kalibre edilmemiş WEPP model toprak dosyası

Albedo değeri, kalibre edilmemiş WEPP model tarafından önerilen Baumer's denklemi (3) ile hesaplanmaktadır:

$$\text{Albedo} = 0.6 / \ddot{U}S \quad (0.4 * \text{Organik Madde Miktarı}) \quad (3)$$

Toprak erodibilite parametreleri olan rill (kr), interill (ki), kayma gerilmesi (τ) ve etkin hidrolik iletkenlik (ke) değeri ise WEPP Hillslope modelin algoritmasında bulunan ve aşağıda verilen 4,5,6,7 denklemler ile hesaplanmaktadır:

3.3.1.8. Bitki amenajmanı dosyası (management file)

Amenajman dosyası (.rot), toprak işleme çeşidi ve ilişkili parametreleri içermektedir. Bunlar bitki ve atık amenajmanı, başlangıç şartları, konturlama, yüzey altı drenaj ve ürün rotasyonudur. Tez çalışmasında, araştırma enstitü arazisinin farklı uzunluk ve eğimlerde USLE-K parselinde 1967-1993 yılları arasında meydana gelen toprak kaybı verileri kullanılacaktır. USLE-K parseli, pulluk ile eğime paralel sürülmüştür. Bu özelliklere göre amenajman dosyası hazırlanacaktır.

3.3.2. İstatistiksel Analiz

Model performansının değerlendirilmesinde Nash-Sutcliffe model efficiency (NSE) değeri kullanılmıştır. Model performansının değerlendirilmesinde kullanılan istatistiksel analizler Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Model performansının değerlendirilmesinde kullanılan istatistiksel analizler

Coefficient or Measure	Equation	Range of Variability	Optimal Value
Coefficient of residual mass	$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}$	$-\infty$ to $+\infty$	0
Coefficient of determination	$R^2 = \left[\frac{\sum (Q_i - \bar{Q})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum (Q_i - \bar{Q})^2 \cdot \sum (P_i - \bar{P})^2}} \right]^2$	0 to 1	1
Root mean square error	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{n}}$	0 to ∞	0
Nash-Sutcliffe efficiency	$E_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}$	$-\infty$ to 1	1
Modified Nash-Sutcliffe efficiency	$ME_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n Q_i - P_i }{\sum_{i=1}^n Q_i - \bar{Q} }$	$-\infty$ to 1	1

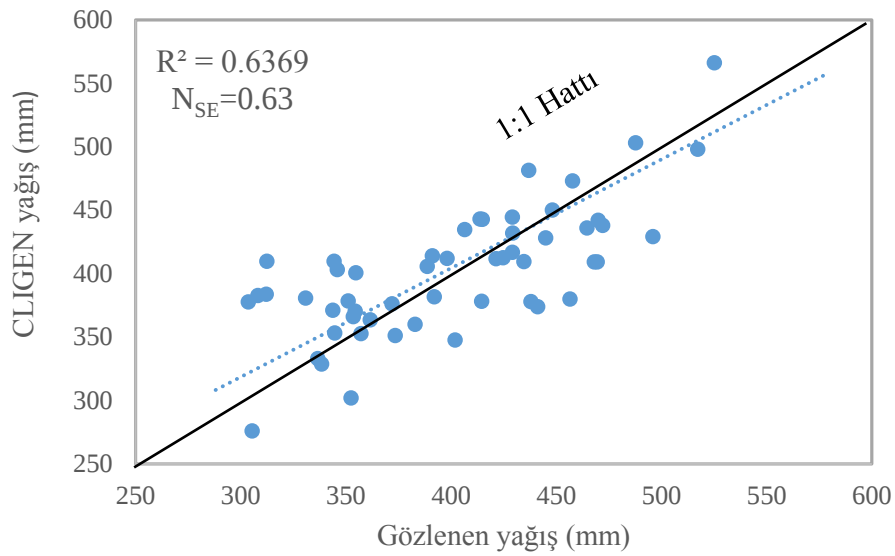
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. CLIGEN Yağış Simülasyon Sonuçları

Bu bölümde, CLIGEN modeli kullanılarak simüle edilen yağış verilerinin sonuçları ile gözlemlenen yağış verileri karşılaştırılmış ve değerlendirme yapılmıştır. Simülasyon verileri, uzun vadeli iklim değişiklikleri ve yerel hava koşulları üzerindeki etkileri analiz etmek amacıyla istatistiksel olarak incelenmiş ve modelin performansı tartışılmıştır.

Gözlenen yağışların ortalaması 405 mm ve CLIGEN ile tahmin edilen yağışlar ise 408 mm'dir. 57 yıllık yağış verilerinin incelendiği tez çalışmasında zaman aralığındaki yılların büyük bir kısmının normal yıl olduğu görülmektedir (Çizelge 4.1). Bazı yıllarda kurak iken model normal olarak simüle etmiştir. Bu durum, modelin su bütçesinden kaynaklanmaktadır. Bu yıllar içerisinde birbirini izleyen ıslak gün adı verilen yağışlı günler fazladır. Modelin su bütçesi gözlenen değerden fazla olmaktadır (Twari ve ark., 2000). Zaman aralığına aiti verilerin ortalaması incelendiğinde birbirine çok yakın olduğu görülmektedir (Gözlenen yıllık ortalama 405mm ve CLIGEN yağış tahmini 408mm). Gitau ve ark. (2018), CLIGEN v5.3 modeli, güncellenmiş veri tabanını kullanarak yapmış oldukları çalışmada, günlük yağış simülasyonlarını oldukça başarılı bir şekilde gerçekleştirmişlerdir. Modelin günlük yağış serilerini iyi simüle etmesi, bu verilerin hidrolojik modelleme uygulamalarında güvenle kullanılabileceğini göstermektedir. Sıfır değer içermeyen verilerle sıfır değer içeren veriler arasındaki sapmalar değişmemiştir (1.6–6mm). Ancak MI203858 istasyonunda %99.5 yüzdelik dilimde 21 mm'lik bir sapma gözlenmiştir. Aylık yağış sapmaları %97.5 yüzdelik dilime kadar küçük kalmıştır (1–26mm). Ancak, yine MI203858 istasyonunda istisnai sapmalar kaydedilmiştir. Bulunan bu sonuçlar, bizim 57 yıllık yağış simülasyon sonuçlarımızı desteklemektedir. Zhang ve Garbrecht (2003), CLIGEN modelinin (v5.107) performansını Oklahoma'da dört farklı bölgede değerlendirmiş ve WEPP Hillslope modeli ile toprak kayıpları ve yüzey akışı tahmin etmek amacıyla günlük ve aylık yağış miktarlarını kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda, modelin günlük ve aylık yağış miktarlarını, yağışlı ve kurak dönemlerin sıklıklarını makul bir şekilde simüle ettiğini belirlemişlerdir.

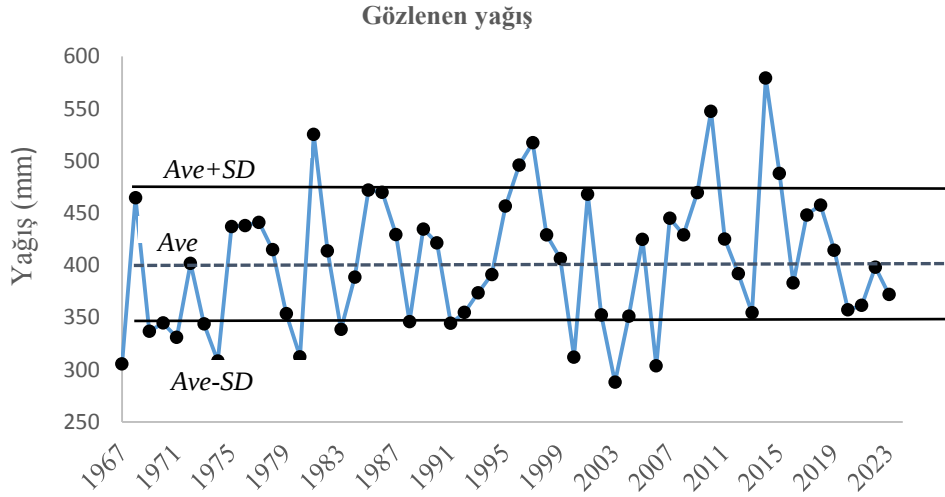
Şekil 4.1.'de, gözlemlenen yağış ile CLIGEN modeli kullanılarak simüle edilen yağış arasındaki ilişki gösterilmektedir. Doğrusal regresyon analizi, iki veri seti arasındaki ilişkinin pozitif yönde olduğunu ve CLIGEN modelinin gözlemlenen yağış verilerini tahmin etme performansının orta derecede olduğunu göstermektedir. N_{SE} değeri (0.63) ve determinasyon katsayısı ($R^2=0.6369$) birlikte değerlendirildiğinde, CLIGEN modelinin gözlemlenen yağışları makul bir doğrulukla simüle ettiği, ancak bazı sapmaların olduğu anlaşılmaktadır. Bu orta düzeyde uyum, modelin gözlemlenen yağış verilerini genellikle yansıtmakla birlikte, daha yüksek doğruluk için kalibrasyona ihtiyaç duyabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.1. Gözlenen ve simüle edilen yağışlar arasındaki ilişki

Gözlenen yıllık yağışlara ait sonuçlar Çizelge 4.1.'de verilmiş olup, veriler arasındaki ilişki Şekil 4.2.'de verilmiştir. 1970'lerin başlarında ve 1980'lerin sonlarında bazı yıllarda yağış miktarları ortalamanın altında kalmış ve Ort-SS seviyesine yaklaşmıştır. Özellikle 1967, 1971, 1993 gibi yıllarda yağış miktarlarının düşük olduğu görülmektedir. 1995, 2010 ve 2016 gibi bazı yıllarda ise yağış miktarları Ort+SS seviyesine yaklaşarak veya bu seviyeyi aşarak yüksek yağışlı yıllar olarak öne çıkmıştır. 1990'ların ortalarından itibaren yağış miktarlarında artan bir dalgalanma göze çarpmaktadır. 2000 ve 2010'ların başında ve 2015-2016 yıllarında ortalamanın üzerinde yağış değerleri gözlemlenmiştir. 2015'ten sonra ise yağış miktarlarında belirgin bir azalma eğilimi gözlenmektedir. Özellikle 2020'den sonraki yıllarda, yağış miktarları Ave-SD seviyesinin altına inmiş ve düşük yağışlı bir dönem yaşanmıştır.

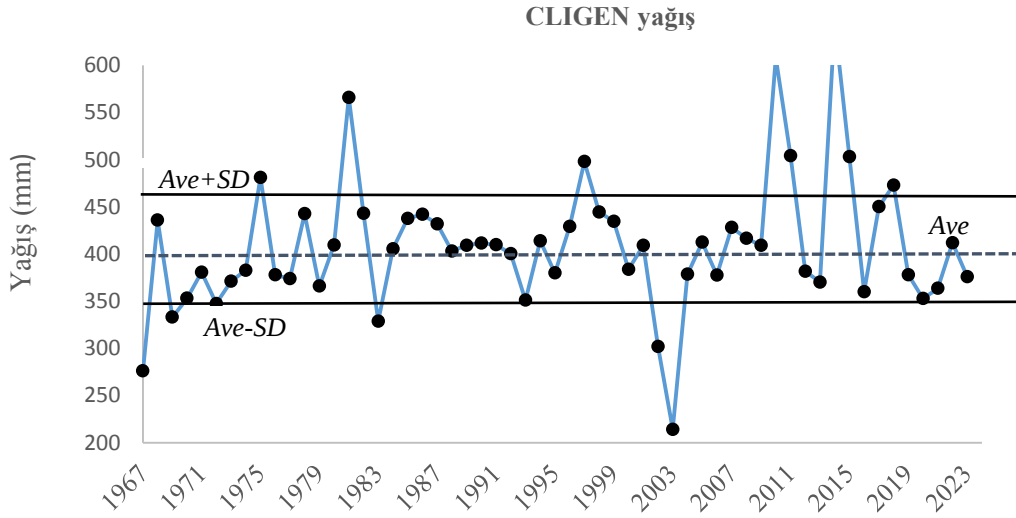
Ortalamadan sapmaların sıklığı ve büyüklüğü, iklimsel değişkenliklerin yıllık yağış miktarları üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. Bu dalgalanmalar, bölgesel iklim değişiklikleri, doğal iklim olayları veya insan kaynaklı faktörlerle ilişkilendirilebilir.



Şekil 4.2. Gözlenen yağışların yıllara göre değişimi

CLIGEN modelinin simüle ettiği 1967-2023 yılları arasındaki yıllık yağış miktarları Çizelge 4.1.'de verilmiş olup, aralarındaki ilişki ise Şekil 4.3.'de gösterilmiştir. Şekil X incelendiğinde; yıllık yağış miktarları, ortalama etrafında önemli dalgalanmalar göstermektedir. Bu dalgalanmalar, bölgesel ve yıllık değişken iklimsel faktörlerden kaynaklanabilir. Özellikle bazı yıllarda yağış miktarları $Ort + SS$ seviyesine ulaşırken, bazı yıllarda $Ort - SS$ seviyesinin altına inmektedir. 1980'ler ve 2000'lerin başında düşük yağışlı yıllar göze çarpmaktadır. Örneğin, 1983 ve 2007 yıllarında yağış miktarları oldukça düşüktür. Yüksek yağışlı yıllar 2010 civarında belirginleşmektedir. 2010 ve 2014 yıllarında ise $Ort + SS$ seviyesini aşarak, yüksek yağışlı yıllar olarak öne çıkmıştır. 1970'lerin sonlarından 1990'ların başlarına kadar olan dönem, genellikle ortalama veya ortalamanın biraz altında yağış miktarlarına sahiptir. Bu durum yılların kurak veya düşük yağışlı yıllar olduğunu göstermektedir. Bu dönem, görece stabil yağış miktarları ile karakterize edilebilir. 2000'li yılların başında bir düşüş eğilimi göze çarpmaktadır. Özellikle 2007 gibi yıllarda yağış miktarı düşük seviyelere ulaşmıştır. 2010'lardan itibaren ise daha yüksek yağış miktarlarının simüle edildiği görülmektedir.

2010, 2011 ve 2014 gibi yıllarda yağış miktarları ortalamadan oldukça üstüne çıkarak Ort + SD seviyesini aşmıştır. Bu durum, bu yılların yüksek yağış aldığına ve yağışın model tarafından yüksek simüle edildiğine işaret eder.



Şekil 4.3. CLIGEN model ile tahmin edilen yıllık yağışların yıllara göre dağılımı

Çizelge 4.1. Gözlenen ve CLIGEN yağışlara ait değerler ve yıl

Yıllar	Yağış (mm)		Periyotlar	
	Gözlenen	CLIGEN	Gözlenen Yağış mm	CLIGEN Yağış mm
1967	306	276	Kuru	Normal
1968	465	436	Kuru	Normal
1969	337	333	Normal	Normal
1970	345	353	Normal	Normal
1971	331	381	Normal	Normal
1972	402	347	Normal	Normal
1973	344	371	Normal	Normal
1974	308	383	Kuru	Normal
1975	437	481	Normal	Islak
1976	438	378	Normal	Normal
1977	441	374	Normal	Normal
1978	415	443	Normal	Normal
1979	354	366	Normal	Normal
1980	312	409	Kuru	Normal
1981	525	566	Islak	Islak
1982	414	443	Normal	Normal
1983	339	329	Normal	Kuru
1984	389	405	Normal	Normal

Yıllar	Yağış (mm)		Periyotlar	
	Gözlenen	CLIGEN	Gözlenen Yağış mm	CLIGEN Yağış mm
1985	472	438	Islak	Normal
1986	470	442	Normal	Normal
1987	429	432	Normal	Normal
1988	346	403	Normal	Normal
1989	435	409	Normal	Normal
1990	421	412	Normal	Normal
1991	344	410	Normal	Normal
1992	355	400	Normal	Normal
1993	373	351	Normal	Normal
1994	391	414	Normal	Normal
1995	457	380	Normal	Normal
1996	496	429	Islak	Normal
1997	517	498	Islak	Normal
1998	429	445	Normal	Normal
1999	407	435	Normal	Normal
2000	312	384	Kuru	Normal
2001	468	409	Normal	Normal
2002	353	302	Normal	Kuru
2003	288	214	Kuru	Normal
2004	351	378	Normal	Normal
2005	425	412	Normal	Normal
2006	304	378	Kuru	Normal
2007	445	428	Normal	Normal
2008	429	417	Normal	Normal
2009	470	409	Normal	Normal
2010	547	608	Islak	Islak
2011	425	504	Normal	Islak
2012	392	382	Normal	Normal
2013	355	370	Normal	Normal
2014	579	645	Islak	Islak
2015	488	503	Islak	Normal
2016	383	360	Normal	Normal
2017	448	450	Normal	Normal
2018	458	473	Normal	Normal
2019	414	378	Normal	Normal
2020	357	353	Normal	Normal
2021	362	363	Normal	Normal
2022	398	412	Normal	Normal
2023	372	376	Kuru	Kuru
ort	405	408		
SP	65	70		
ort+SP	470	478		
Ort-SP	399	398		

4.2. Çalışma Noktaları Toprak Kaybı ve Yüzey Akış Kayıpları

4.2.1. 22m Uzunluğundaki Şeve Ait Sonuçlar

4.2.1.1. Bireysel olaylara ait sonuçlar

Bu çalışmada, 1967-1993 yılları arasında gözlenen toprak kayıpları ve yüzey akışı verileri ile kalibre edilmemiş WEPP modeli tahminleri karşılaştırılmıştır. Bulunan sonuçlar Çizelge 4.2.'de verilmiştir. 27 yıllık uzun döneme ait 94 bireysel gözlenen olayın ortalama toprak kayıpları 0.09942 kg/m^2 ve 76 simüle edilen bireysel olayın ortalaması ise 0.0637 kg/m^2 olarak bulunmuştur. Gözlenen toprak kayıpları 0 ile 0.89254 kg/m^2 arasında değişirken, kalibre edilmemiş WEPP tahminleri 0 ile 1.14 kg/m^2 aralığında yer almıştır. Çizelge 4.2. incelendiğinde, kalibre edilmemiş WEPP modeli gözlenen değerlere göre daha düşük toprak kaybı tahmin etmektedir. Model, gerçekte gözlenen toprak kaybının yaklaşık %51.8'ini tahmin etmektedir. Bazı tarihlerde örneğin, 04.07.1983 oldukça yüksek toprak kaybı (0.89254 kg/m^2) tahmin ederken, bazı günlerde hiç tahminde bulunmamıştır (Çizelge 4.2). Bu durum şiddetli yağış olaylarına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Gözlenen yüzey akışı değerleri 0.004 mm ile 19.66 mm arasında değişiklik gösterirken, kalibre edilmemiş WEPP tahminleri 0.1 mm ile 19.4 mm arasında seyretmiştir. Ortalama gözlenen bireysel yüzey akış 2.96 mm ve tahmin edilen ise 3.49mm'dir. 10.09.1981'deki 21.90 mm yüzey akış tahmininde modelin zorlandığı gözlemlenmiştir. Bu durum, Baffaut ve ark. (2015)'in kalibre edilmemiş WEPP modelinin ekstrem olayları tahmin etmede yaşadığı zorlukları rapor ettikleri çalışmayla paralellik göstermektedir.

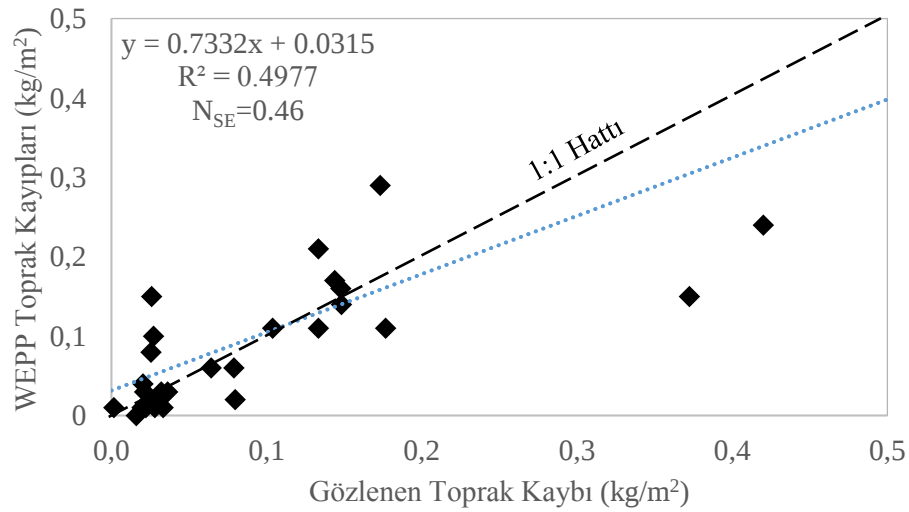
Çizelge 4.1. Gözlenen ve simüle edilen bireysel toprak kaybı ve yüzey akış sonuçları (22m)

Gözlenen Olay Tarihi	Gözlenen Toprak Kayıpları (kg/m ²)	Gözlenen Yüzey akış (mm)	Kalibre edilmemiş WEPP Toprak Kayıpları (kg/m ²)	Kalibre edilmemiş WEPP Yüzey akış (mm)
23/04/1967	0.01990	2.09	0.01	3.9
02/12/1967	0.02060	1.65	0.04	8.6
01/05/1967	0.01620	1.13	0	0.3
02/05/1967	0.17680	3.2	0.11	3.3
07/05/1967	0.00510	1.03		1.8
08/05/1967	0.19370	2.08		
12/05/1967	0.47970	11.14		8.2
21/06/1967	0.00290			
16/04/1968	0.06438	3.35	0.06	2.2
21/04/1968	0.00360	1.34		1
27/05/1968	0.00090	0.09		0.8
29/11/1968				
26/12/1968		0.17		0.2
12/05/1969	0.42025	6.31	0.24	6.1
18/05/1969	0.21259	2.96	0.01	4
23/05/1969	0.14804	2.45	0.16	0.1
25/05/1971	0.03231	1.38	0.03	0.1
30/05/1971	0.00332	0.22		0.2
02/06/1971	0.14838	1.82	0.14	2.9
03/06/1971	0.37262	7.1	0.15	5.9
29/11/1971				
12/12/1971				
04/07/1971	0.02564	0.726	0.02	2.6
05/07/1972	0.55900	2.63	1.14	1.2
29/09/1972	0.08411	1.37		3.1
17/10/1972	0.02821	1.36	0.01	4.1
19/10/1972	0.04566	1.59		1.4
23/10/1972	0.00169	0.386		2.3
25/10/1972	0.10410	2.78	0.11	7.7
03/04/1973				
16/06/1973	0.02735	1.97	0.1	1.3
07/12/1974	0.00009	1.05		2.6
30/01/1975	0.00028	0.32		0.5
20/04/1975	0.00006	0.004		1
27/04/1975	0.00047	0.024		4.8
20/05/1975	0.00243	0.265		1.1
23/06/1975	0.00259	0.212		9.5
24/04/1978	0.01193	1.56		2.8
23/09/1978	0.02558	2.54	0.08	4.7
22/10/1978	0.02605	2.68	0.15	0.9
25/10/1978	0.00106	0.839		2
27/10/1978	0.00061	0.873		9.1
24/06/1979	0.00876	1.2		4.8
25/06/1979	0.00873	9.06		5.9
11/05/1980	0.13350	1.8	0.11	2.6
12/05/1981	0.08000	5	0.02	16.2
02/06/1981	0.13347	2.7		5.8
18/08/1981	0.00419	0.067		0.7
10/09/1981	0.00054	19.66		19.4
16/11/1981	0.00035	9.5		6
15/12/1981				0.1
17/12/1981		11.1		13.6

Gözlenen	Gözlenen Toprak	Gözlenen	Kalibre edilmemiş	Kalibre edilmemiş WEPP
24/04/1982	0.00467	1.1	0.21	0.5
13/05/1982	0.77062	3.85	0.86	3.8
03/06/1982	0.00029	0.011		1.4
06/06/1982	0.04142	2.88		0.6
30/06/1982				0
25/08/1982	0.58792	3.38	0.3	3.2
29/08/1982	0.17344	2.43	0.29	0.9
26/12/1982		17.7		10.3
06/04/1983		0.038		4.8
15/04/1983		0.012		2.3
03/06/1983	0.07902	1.23	0.06	1
06/06/1983	0.00254	0.178		4.2
13/06/1983	0.14403	0.742	0.17	2.2
04/07/1983	0.89254	11.75	0.22	10.2
09/11/1983	0.00034	0.182		0.9
13/05/1984	0.02144	0.725	0.03	2.1
29/07/1984				0.2
30/07/1984	0.03341	2.71	0.01	6.4
28/05/1985				
10/06/1986	0.40370	6.59		4.5
13/06/1986	0.43180	5.94		2.5
02/09/1986	0.30200	5.91		
03/09/1986	0.29990	5.12		
02/06/1987	0.05100	2.9		
25/06/1987	0.01204	1.11		0.8
28/05/1989	0.23436	8.79		9.5
01/10/1989	0.14391	1.47		1.1
13/09/1990	0.01211	2.23		3.8
18/05/1991	0.12103	1.82		
05/06/1991	0.00000			
10/06/1991	0.00670	1.07		
02/07/1991	0.02227	1.69		
06/10/1991	0.03630	1.72		1.4
28/06/1992	0.62422	3.5		4.7
01/07/1992	0.00193	5.79		4.8
20/07/1992	0.02549	1.45		
10/05/1993	0.11835	3.59		2.7
13/05/1993	0.09630	4.38		
19/06/1993	0.01220	1.47		2
Ortalama	0.09942	3.06	0.0637	3.74

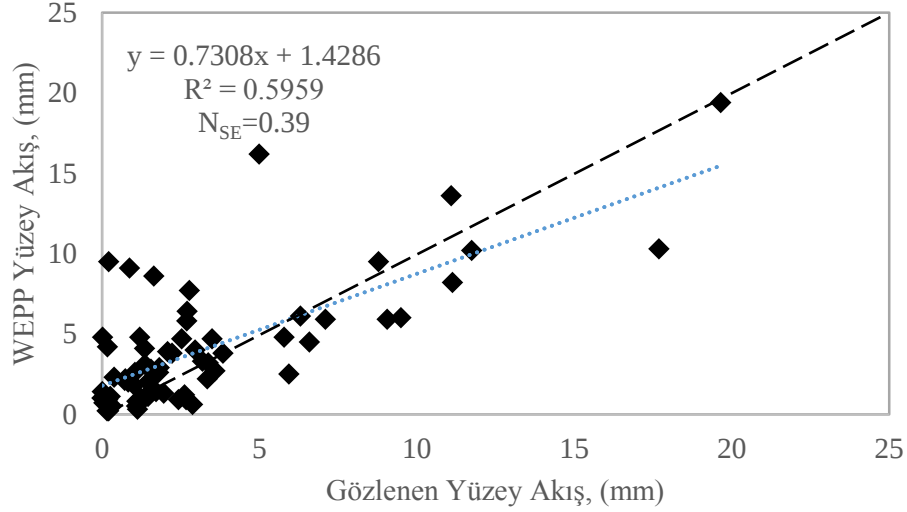
Gözlenen ve simüle edilen bireysel toprak kayıpları arasındaki ilişki görsel olarak Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Şekil 4.4 incelendiğinde; gözlenen ve simüle edilen değerler arasındaki ilişkiyi gösteren $R^2:0.49$ olarak bulunmuş olup aralarında orta derecede bir ilişki olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca, toprak kayıpları için elde edilen trend denklemi $y=0.7332x+0.0315<1$ olup, modelin gözlenen verileri düşük tahmin ettiğini göstermektedir. Şekil 4.4’de verilen veriler 1:1 hattının altında ve üstünde dağılmaktadır. Bu durum, modelin verileri gözlenen verilerin altında ve üstünde tahmin ettiğini ifade etmektedir. Ayrıca, model $<0.01 \text{ kg/m}^2$ verileri tahmin etmede oldukça

başarısızdır. Söz konusu bu durum kalibre edilmemiş WEPP modelin algoritmasından kaynaklanmaktadır. Modele girilen giriş dosyalarına göre model toprak kayıplarını tahmin etmektedir. Ankara-Beytepe serisinin bulunduğu bölge kurak ve yarı kurak iklim bölgesinde yer almaktadır. Hidrolojik modeller bu bölgelerde performansı yağış deseninde görülen değişiklikten dolayı oldukça düşüktür. Mevsimsel desenler, toprak erozyonu ve yüzey akışın zamansal dinamiklerini anlamada önemli bilgiler sunmaktadır. Özellikle, ilkbahar ve yaz aylarındaki yüksek toprak kaybı değerleri, bu dönemlerde toprak koruma önlemlerinin artırılması gerektiğini işaret etmektedir.



Şekil 4.4. Gözlenen ve tahmin edilen bireysel toprak kaybı verileri arasındaki ilişki (22m)

Gözlenen ve tahmin edilen bireysel yüzey akış verileri arasındaki ilişki Şekil 4.5’de verilmiştir. Saçılım grafikleri ve ilişkili istatistiksel ölçümler (R^2 ve N_{SE}), çeşitli toprak parametrelerine dayalı olarak kalibre edilmemiş WEPP modelinin toprak kaybı ve yüzey akışını tahmin etmedeki performansına ilişkin bilgiler sunmaktadır. R^2 değerleri, gözlenen verilerdeki varyansın doğrusal regresyon modeli tarafından açıklanan kısmını gösterirken, N_{SE} değerleri modelin gözlenen verileri simüle etmedeki performansını temsil etmektedir. Bu bulgular, modelin doğruluğunu ve toprak erozyonu ile yüzey akışı değerlendirmelerindeki potansiyel uygulamalarını değerlendirmede faydalı olabilir. Aralarındaki ilişkiyi gösteren R^2 değeri toprak kaybına göre yüksektir (0.59). Toprak kayıplarında olduğu gibi model, gözlenen verileri altında ve üstünde tahmin etmiştir. Küçük yüzey akış verilerini yüksek, büyük verileri ise düşük tahmin etmiştir.



Şekil 4.5. Gözlenen ve tahmin edilen bireysel yüzey akış verileri arasındaki ilişki (22m).

N_{SE} değerleri toprak kayıpları için 0.46 kg/m^2 ve yüzey akış için ise 0.32 mm olup birlikte değerlendirildiğinde, modelin orta düzeyde bir tahmin gücüne sahip olduğu, ancak yüzey akışı tahminlerinde toprak kayıplarına göre daha düşük performans gösterdiği anlaşılmaktadır. Bulunan bu sonuçlara göre; modelin güvenilirliğini artırmak model parametrelerinin bölgenin iklim şartlarına uygun olacak şekilde kalibre edilmesi gerekmektedir.

4.2.2. 44m Uzunluğundaki Şeve Ait Sonuçlar

4.2.2.1. Bireysel sonuçlar

Farklı şev uzunluğunun toprak kaybı üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmalarda, uzunluk artıkcı toprak kayıplarının arttığı ifade edilmiştir. Bu tez çalışmasında elde edilen bulgular, bulunan sonuçları desteklemektedir. 1967-1993 yılları arasında, 44 m uzunluğundaki yamaç arazisi üzerinde hem gözlenen hem de tahmin edilen toprak kayıpları artış göstermiştir. 40 bireysel olayın gözlemlendiği ve simüle edildiği yamaç arazisindeki toprak kayıpları sırasıyla 0.215 ve 0.140 kg/m^2 olarak belirlenmiştir. Bulunan sonuçlar Çizelge 4.3’de verilmiş olup, aralarındaki ilişki ise Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Model bazı olaylar için tahminde bulunmamıştır. En yüksek gözlenen toprak kaybı: 0.80986 kg/m^2 (25.08.1982) olup kalibre edilmemiş WEPP model ile tahmin edilen en yüksek toprak kaybı ise 1.71 kg/m^2 (25.08.1982)’dir. Diğer taraftan en

düşük gözlenen toprak kaybı 0.62 kg/m² iken, model 0.26 kg/m² tahmin etmiştir (24.06.1979). Model, yüksek değerdeki toprak kayıplarını düşük, düşük değerdeki toprak kayıplarını daha yüksek tahmin etme eğilimindedir. Söz konusu bu durum; i) yerel topografya, toprak özellikleri veya mikro-iklim koşulları gibi faktörlerin modelde yeterince temsil edilememesi, ii) ani ve şiddetli yağış olayları gibi ekstrem durumların modelde tam olarak simüle edilememesi, iii) arazi kullanımı veya bitki örtüsündeki kısa vadeli değişimlerin modele yansıtılamaması, iv) ölçüm hatalarının veya veri toplama sürecindeki belirsizliklerin etkisi gibi birtakım faktörlerden etkilenmektedir. Söz konusu bu faktörler, modelin genel performansını etkilemekte ve R² değerinin 0.6356 gibi orta düzeyde bir değerde kalmasına neden olmaktadır.

Toprak kayıpları arasındaki ilişkiyi gösteren Şekil 4.6. incelendiğinde verilerin 1:1 hattına yakın bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Ekstrem değerlerin görüldüğü ay Ağustos ayıdır. Söz konusu bu ayda toprak çok kuru olup, 5 mm yağış düşmüştür. Şiddetli yağışlar sonunda yüksek toprak kayıpları meydana gelmiştir. Kurak iklimlerde hidrolojik modeller özellikle yaz aylarındaki yağış deseninden dolayı erozyonu tahmin etmede bazı sıkıntıları bulunmaktadır. Kalibre edilmemiş WEPP model gibi günlük iklim verisi ile çalışan modellerde bu durum daha ön plana çıkmaktadır.

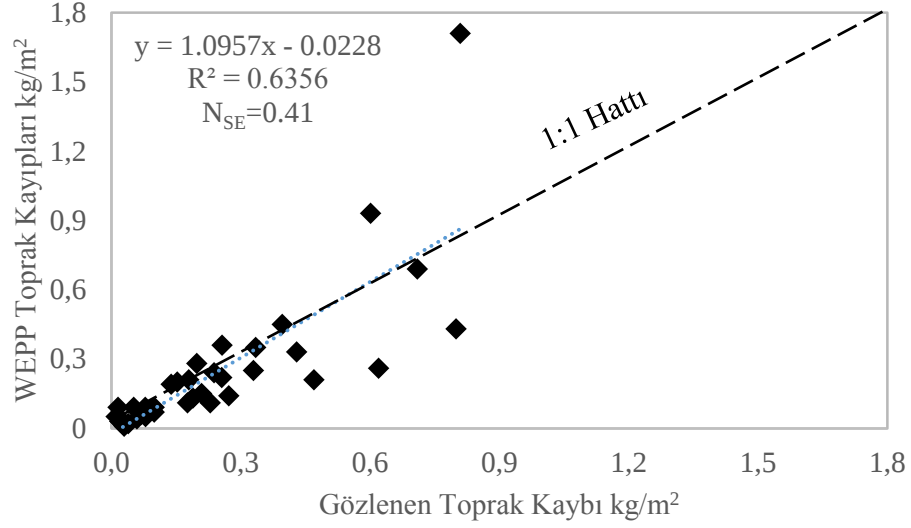
Çizelge 4.3. Gözlenen ve simüle edilen bireysel toprak kaybı ve yüzey akış sonuçları (44m)

Tarih	Toprak Kaybı		Yüzey Akış	
	Gözlenen	Kalibre edilmemiş WEPP	Gözlenen	Kalibre edilmemiş WEPP
23/04/1967	0.19000	0.13	2.09	4.1
02/12/1967	0.03000	0.02	1.65	2
01/05/1967	0.01620	0.09	1.13	3.8
02/05/1967	0.17680	0.11	3.20	3.1
07/05/1967	0.19880	0.28	3.11	1.9
08/05/1967				
12/05/1967	0.47000	0.21	11.14	8.1
21/06/1967				
16/04/1968	0.07000	0.06	3.35	3.2
21/04/1968	0.03000	0.01	1.34	0.9
27/05/1968				
29/11/1968			0.35	0.3
26/12/1968			0.09	0.1
12/05/1969	0.10000	0.09	14.20	5.9
18/05/1969	0.07897	0.09	1.79	3.2
23/05/1969	0.10000	0.07	1.49	4.3
25/05/1971	0.02073	0.04		

Tarih	Toprak Kaybı		Yüzey Akış	
	Gözlenen	Kalibre edilmemiş WEPP	Gözlenen	Kalibre edilmemiş WEPP
30/05/1971				
02/06/1971	0.06000	0.04	1.74	1.6
03/06/1971	0.25664	0.22	6.76	5.9
29/11/1971				
12/12/1971				
04/07/1971	0.03000	0.01	4.69	2.2
05/07/1972	0.27286	0.14	2.56	2.5
29/09/1972			0.97	1.1
17/10/1972			0.79	1.3
19/10/1972			1.25	1
23/10/1972				1.3
25/10/1972	0.43000	0.33	1.50	2.3
03/04/1973				
16/06/1973	0.23000	0.11	9.83	7.7
07/12/1974				0.5
30/01/1975			0.18	2.6
20/04/1975				1.8
27/04/1975		0.08		0.2
20/05/1975			0.12	0.3
23/06/1975	0.02000	0.03	0.10	0.5
24/04/1978	0.18000	0.21		9.6
23/09/1978			1.54	1.3
22/10/1978	0.21000	0.15	1.38	4.6
25/10/1978	0.03000	0.01	0.48	0.9
27/10/1978			1.17	2
24/06/1979	0.62000	0.26	14.20	8
25/06/1979			1.44	4.8
11/05/1980	0.33000	0.25	4.60	2.6
12/05/1981	0.80000	0.43	13.00	16.7
02/06/1981			1.08	4.2
18/08/1981	0.02000	0.03	1.60	2.7
10/09/1981			21.90	20.4
16/11/1981				6
15/12/1981			0.02	0.1
17/12/1981			15.00	13.5
24/04/1982			0.22	4.7
13/05/1982			2.15	3.8
03/06/1982				0.3
06/06/1982				0
30/06/1982			0.11	0.9
25/08/1982	0.80986	1.71	7.30	4.3
29/08/1982	0.23856	0.24	2.39	10.3
26/12/1982			3.46	4.3
06/04/1983				

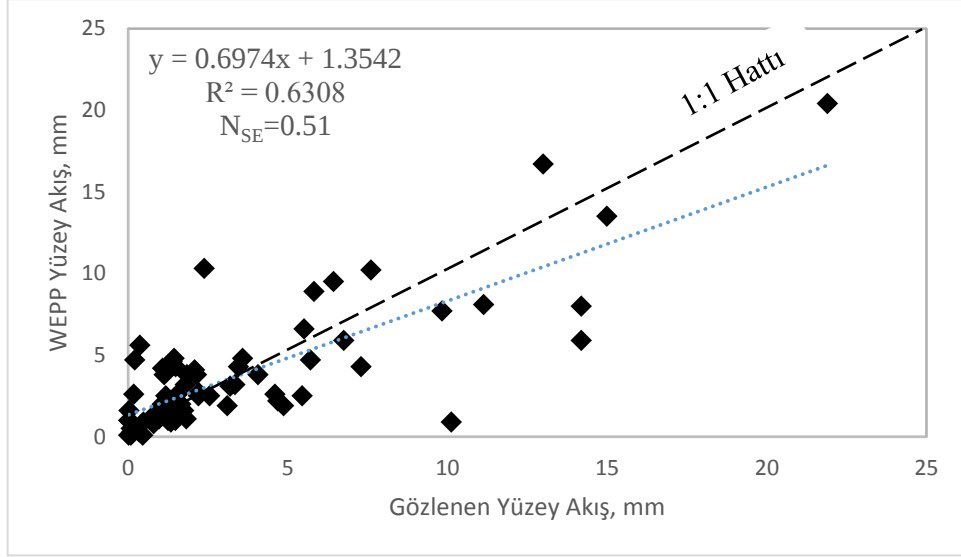
Tarih	Toprak Kaybı		Yüzey Akış	
	Gözlenen	Kalibre edilmemiş WEPP	Gözlenen	Kalibre edilmemiş WEPP
23/04/1967	0.19000	0.13	2.09	4.1
02/12/1967	0.03000	0.02	1.65	2
01/05/1967	0.01620	0.09	1.13	3.8
02/05/1967	0.17680	0.11	3.20	3.1
07/05/1967	0.19880	0.28	3.11	1.9
08/05/1967				
12/05/1967	0.47000	0.21	11.14	8.1
21/06/1967				
16/04/1968	0.07000	0.06	3.35	3.2
21/04/1968	0.03000	0.01	1.34	0.9
27/05/1968				
29/11/1968			0.35	0.3
26/12/1968			0.09	0.1
12/05/1969	0.10000	0.09	14.20	5.9
18/05/1969	0.07897	0.09	1.79	3.2
23/05/1969	0.10000	0.07	1.49	4.3
25/05/1971	0.02073	0.04		
30/05/1971				
02/06/1971	0.06000	0.04	1.74	1.6
03/06/1971	0.25664	0.22	6.76	5.9
29/11/1971				
12/12/1971				
04/07/1971	0.03000	0.01	4.69	2.2
05/07/1972	0.27286	0.14	2.56	2.5
29/09/1972			0.97	1.1
17/10/1972			0.79	1.3
19/10/1972			1.25	1
23/10/1972				1.3
25/10/1972	0.43000	0.33	1.50	2.3
03/04/1973				
16/06/1973	0.23000	0.11	9.83	7.7
07/12/1974				0.5
30/01/1975			0.18	2.6
20/04/1975				1.8
27/04/1975		0.08		0.2
20/05/1975			0.12	0.3
23/06/1975	0.02000	0.03	0.10	0.5
24/04/1978	0.18000	0.21		9.6
23/09/1978			1.54	1.3
22/10/1978	0.21000	0.15	1.38	4.6
25/10/1978	0.03000	0.01	0.48	0.9
27/10/1978			1.17	2
24/06/1979	0.62000	0.26	14.20	8
15/04/1983			0.02	1
03/06/1983	0.04000	0.02	0.37	5.6

Tarih	Toprak Kaybı		Yüzey Akış	
	Gözlenen	Kalibre edilmemiş WEPP	Gözlenen	Kalibre edilmemiş WEPP
06/06/1983			0.03	1.6
13/06/1983			1.48	1
04/07/1983	0.01000		10.13	0.9
09/11/1983				1.5
13/05/1984	0.01147	0.05	0.46	0.1
29/07/1984				
30/07/1984	0.15299	0.2	1.43	
28/05/1985			4.07	3.8
10/06/1986			4.87	1.9
13/06/1986	0.39720	0.45	5.45	2.5
02/09/1986	0.33500	0.35	5.51	6.6
03/09/1986			5.71	4.7
02/06/1987	0.08000	0.05	1.18	2.5
25/06/1987			0.80	0.8
28/05/1989	0.25709	0.36		
01/10/1989			1.82	1.1
13/09/1990			1.85	3.8
18/05/1991	0.71000	0.69	0.77	
05/06/1991			6.44	9.5
10/06/1991			0.81	
02/07/1991			0.76	
06/10/1991	0.05247	0.09	1.43	1.4
28/06/1992			5.82	8.9
01/07/1992	0.60162	0.93	7.61	10.2
20/07/1992			2.21	2.5
10/05/1993			2.22	2.7
13/05/1993	0.13906	0.19	3.59	4.8
19/06/1993	0.01730		1.07	2
Ortalama	8.82362	5.5900	3.47	3.70



Şekil 4.6. Gözlenen ve tahmin edilen bireysel toprak kaybı verileri arasındaki ilişki (44m).

44 m uzunluğundaki yamaç arazisi üzerindeki gözlenen olay bazlı yüzey akış verileri ile simüle edilen veriler Çizelge 4.3’de verilmiştir. Aralarındaki ilişki ise Şekil 4.7’de gösterilmiştir. 71 adet olayın gözlemlendiği yamaç üzerinde ortalama yüzey akış 3.47 mm dir. Buna karşın, kalibre edilmemiş WEPP model 75 bireysel yüzey akış olayını simüle etmiş ortalama yüzey akış ise 3.70mm olarak tahmin edilmiştir. En yüksek gözlenen ve simüle edilen bireysel yüzey akış, tıpkı toprak kayıplarında olduğu gibi Ağustos ayında meydana gelmiştir. Model yüzey akışın olduğu bazı günler için tahminde bulunmamıştır. Gözlenen ve tahmin edilen olay bazlı yüzey akış verileri arasındaki ilişki $R^2:0.63$ olarak bulunmuş olup, 0-5mm arasındaki veriler 1:1 hattına oldukça yakın dağılım göstermektedir. Bu durum, modelin 5 mm altındaki gözlenen verileri daha yüksek simüle ettiğini ifade etmektedir. Tiwari ve ark. (2000), yapmış oldukları çalışmada, benzer sonuçlar elde etmişlerdir.



Şekil 4.7. Gözlenen ve tahmin edilen bireysel yüzey akış verileri arasındaki ilişki (44m).

Gözlenen ve simüle edilen olay bazlı toprak kaybı verileri arasındaki ilişki istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. N_{SE} değeri 0.41 olan toprak kayıpları tahmini, modelin orta düzeyde bir performans gösterdiğini, ancak iyileştirme potansiyeli olduğunu işaret etmektedir. Bu sonuç, Nearing ve ark. (2011)'in kalibre edilmemiş WEPP modelinin toprak erozyonu tahminlerindeki performansını değerlendirdikleri çalışmayla benzerlik göstermektedir. Modelin genel olarak kabul edilebilir sonuçlar verdiğini, ancak yerel koşullara göre kalibrasyonun önemini vurgulamışlardır.

Yüzey akışı için elde edilen 0.51 N_{SE} değeri, modelin toprak kayıpları tahminlerine göre daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgu, Pandey ve ark. (2008)'in kalibre edilmemiş WEPP modelinin yüzey akışı tahminlerinde genellikle toprak erozyonu tahminlerinden daha başarılı olduğu yönündeki gözlemleriyle uyumludur.

Bu değerler, Moriasi ve ark. (2007) tarafından önerilen model değerlendirme kriterlerine göre yorumlandığında, kalibre edilmemiş WEPP modelinin hem toprak kayıpları hem de yüzey akışı tahminlerinde “tatmin edici” bir performans sergilediği söylenebilir. Moriasi ve ark., $0.50 \leq NSE \leq 0.65$ aralığını “tatmin edici” olarak nitelendirmektedir.

Elde edilen N_{SE} değerleri, modelin bölgesel koşullara göre kalibre edilmesi gerektiğini göstermektedir. Flanagan ve ark. (2012), kalibre edilmemiş WEPP modelinin farklı iklim ve toprak koşullarında kalibre edilmesinin önemini vurgulamıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, Flanagan ve ark. (2012'nin bulgularını destekler niteliktedir.

4.2.3. 66m Uzunluğundaki şeve Ait Sonuçlar

4.2.3.1. Bireysel sonuçlar

Bir yamaç ya da havzada meydana gelen toprak kaybı ve yüzey akış miktarı, şevin uzunluğundan çok alanın hidrolojik özellikleri ve yağış şiddetinden yakından etkilenir (Lal, 1982). Ayrıca, alışma alanına yağış yağışların şiddeti çok yüksek değildir. Yukardaki bölümde açıklandığı üzere, kurak ve yarı kurak iklime sahip alanlardaki en büyük problem ıslak-kuru günlerdir (Demir ve Kaya, 2024). Kalibre edilmemiş WEPP model gibi günlük verileri kullanan hidrolojik modellerde, yağış çok önemli bir parametredir.

79 bireysel toprak kaybının gözlendiği 66m uzunluğundaki yamaç üzerinde gözlenen bireysel toprak kaybı değerleri 0.0038 to 0.4640 kg/m² arasında değişmekte olup, ortalama toprak kayıpları 0.144 kg/m²'dir. Kalibre edilmemiş WEPP model ile toplam 36 bireysel toprak kaybı olayı 0.01 to 0.44 kg/m² arasında değerler içermekte olup, ortalama toprak kaybı değeri ise 0.100 kg/m² olarak simüle edilmiştir. Model, bireysel olayları oldukça yakın tahmin etmiştir. Gözlenen ve simüle edilen bireysel toprak kaybı sonuçları izelge 4.4'de verilmiştir. 22 ve 44m olduğu gibi model, yüksek toprak kayıplarını tahmin etmede düşük performans göstermiştir. Bu durum, modelin bölge şartlarına göre kalibre edilmediğinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, toprak kaybının olmadığı günler için de tahminde bulunmuştur. Kalibre edilmemiş WEPP modelde çok sık rastlanılan bir durumdur. Model, su bütçesine göre tahminlerde bulunmaktadır. Bundan dolayı, modele göre peş peşe şiddetli yağışlar olduğundan ıslak gün olarak kabul etmekte ve tahminde bulunmaktadır (Demir ve Oğuz, 2019).

Çizelge 4.4.Gözlenen ve simüle edilen bireysel toprak kaybı sonuçları (66m)

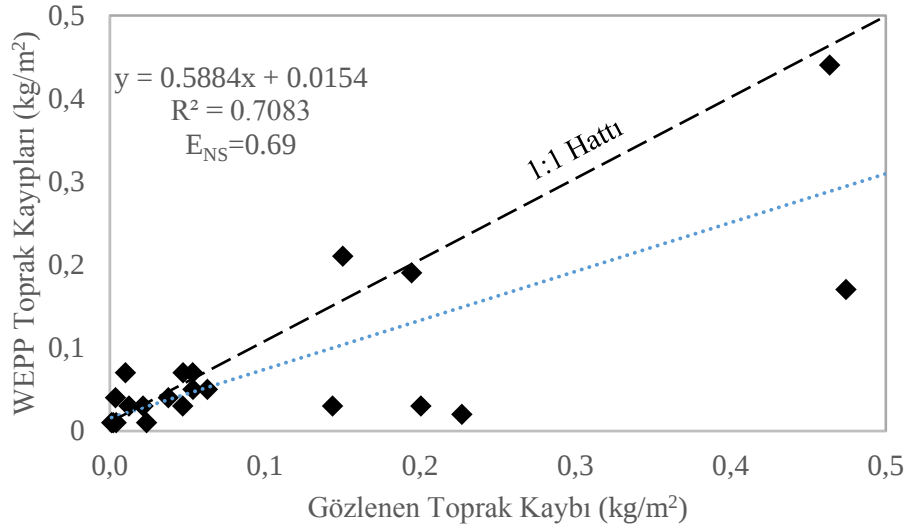
Gözlenen Olay Tarihi	Gözlenen Toprak Kayıpları (kg/m ²)	Gözlenen Yüzey akış(mm)	Kalibre edilmemiş WEPP Toprak Kayıpları (kg/m ²)	Kalibre edilmemiş WEPP Yüzey akış(mm)
23/04/1967	0.00430	10.80	0.01	7.1
02/12/1967	0.01030	11.10	0.07	11.7
01/05/1967	0.00380	8.90	0.04	9.1
02/05/1967	0.06680	2.72		13.2
07/05/1967	0.22700	3.99	0.02	4.1
08/05/1967			0.06	8.5
12/05/1967	0.46400	8.99	0.44	17.9
21/06/1967		2.00	0.01	4.1
16/04/1968	0.02390	1.25	0.01	
21/04/1968		7.10	0.01	7.5
27/05/1968		5.00		4.3
29/11/1968		13.90	0.07	13.2
26/12/1968			0.02	
12/05/1969	0.16932	14.50		14.3
18/05/1969	0.14043	1.91		5.6
23/05/1969	0.05372	1.28	0.05	1.1
25/05/1971	0.01860	7.60		17.5
30/05/1971		9.00		15.7
02/06/1971	0.03381	7.10		12.3
03/06/1971	0.20073	3.32	0.03	6.6
29/11/1971			0.07	
12/12/1971				
04/07/1971	0.02362	6.40		5.1
05/07/1972	0.14362	2.85	0.03	6.8
29/09/1972	0.05358	8.40	0.07	7.1
17/10/1972	0.02155	7.80	0.03	27.9
19/10/1972	0.02868	1.00		
23/10/1972		6.00		5.2
25/10/1972	0.06300	10.30	0.05	23.5
03/04/1973		10.00		11.5
16/06/1973		9.10		4.1
07/12/1974		14.00	0.01	14.6
30/01/1975				25.2
20/04/1975				3.7
27/04/1975		1.00		1
20/05/1975		4.00		5.7
23/06/1975		12.00		28.3
24/04/1978		5.40	0.11	13.5
23/09/1978	0.01261	1.00		0.7
22/10/1978	0.01261	9.20	0.03	7.1
25/10/1978	0.00908	8.90		4.9
27/10/1978	0.00785	9.10		9.9

Gözlenen Olay Tarihi	Gözlenen Toprak Kayıpları (kg/m ²)	Gözlenen Yüzey akış(mm)	Kalibre edilmemiş WEPP Toprak Kayıpları (kg/m ²)	Kalibre edilmemiş WEPP Yüzey akış(mm)
24/06/1979	0.04749	9.50	0.07	11.9
25/06/1979	0.03781	10.10	0.04	15.9
11/05/1980	0.22630	3.80		6.3
12/05/1981	0.15030	5.20	0.21	1.9
02/06/1981	0.15058	9.70		3
18/08/1981		1.00	0.02	2.5
10/09/1981		13.00		14.6
16/11/1981		15.00		25.3
15/12/1981		1.00		3.8
17/12/1981		12.00	0.13	11.6
24/04/1982		17.00	0.13	25.9
13/05/1982	0.61784	28.30	0.41	26
03/06/1982				2.5
06/06/1982	0.11917	22.90		20.5
30/06/1982				5.3
25/08/1982	0.62323	9.03		1.3
29/08/1982	0.19460	15.90	0.19	13.2
26/12/1982		5.00	0.04	6.8
06/04/1983		1.00		6.9
15/04/1983	0.00136	5.00	0.01	5.1
03/06/1983	0.00273	3.00		5
06/06/1983		8.00		2.6
13/06/1983	0.47452	12.40	0.17	12.9
04/07/1983	0.00236	6.76	0.01	4.2
09/11/1983			0.01	6.9
13/05/1984	0.11268	9.50		28
29/07/1984			0.9	26.6
30/07/1984	0.02754	1.19		6.3
28/05/1985	0.15272	2.29		
10/06/1986	0.57900	4.23		11.2
13/06/1986	0.68100	5.08		2.5
02/09/1986	0.23800	2.74		6.6
03/09/1986	0.24520	5.07		4.7
02/06/1987	0.04716	0.99	0.03	2.5
25/06/1987	0.01550	0.95		0.8
28/05/1989	0.28626	3.84		
01/10/1989	0.14987	1.44		1.1
13/09/1990	0.03310	1.88		3.8
18/05/1991	0.15619	1.01		
05/06/1991	0.00107	5.20		9.5
10/06/1991	0.05670	0.79		
02/07/1991	0.05906	0.97		

Gözlenen Olay Tarihi	Gözlenen Toprak Kayıpları (kg/m ²)	Gözlenen Yüzey akış(mm)	Kalibre edilmemiş WEPP Toprak Kayıpları (kg/m ²)	Kalibre edilmemiş WEPP Yüzey akış(mm)
06/10/1991	0.03188	0.95		1.4
28/06/1992	0.42350	5.30		8.9
01/07/1992	0.37386	5.14		10.2
20/07/1992	0.01774	3.04		2.5
10/05/1993	0.05336	2.16		2.7
13/05/1993	0.12338	3.10		4.8
19/06/1993	0.02256	0.97		2
Ortalama	8.32853	6.53	3.6000	9.35

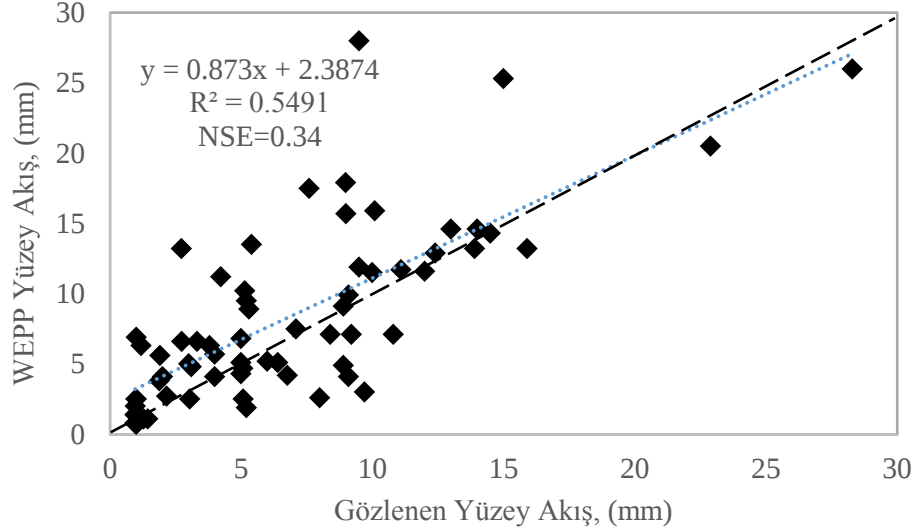
Hidrolojik süreçler, yağıştan buharlaşmaya, akışlardan yeraltı suyuna kadar birçok karmaşık etkileşim içerir. Bu etkileşimler genellikle doğrusal bir ilişkiyle açıklanamaz. Yani, bir girdiye verilen artış, çıktıda aynı oranda bir artışa neden olmayabilir. Kurak bölgelerde uzun süreli kuraklık dönemleri ile kısa süreli yağışlı dönemler birbirini takip eder. Bu durum, hidrolojik süreçlerde ani değişimlere neden olur (Demir ve Kaya, 2024). Ayrıca, bu bölgelerde kısa ve şiddetli yağışlar çok sık görülmektedir. Bu durum, kalibre edilmemiş WEPP model gibi erozyon modellerinin simülasyon performansını yakından etkilemektedir.

Şekil 4.8’de kalibre edilmemiş WEPP modeli ile gözlemlenen toprak kayıpları arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekildeki verilerin dağılımı ve regresyon çizgisi, gözlemlenen toprak kaybı ile kalibre edilmemiş WEPP modeli tahminleri arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermektedir. Yani gözlemlenen toprak kaybı arttıkça, kalibre edilmemiş WEPP modeli tarafından tahmin edilen toprak kaybı da artmaktadır. R² değeri (0.7083), modelin gözlemlenen verileri orta düzeyde açıkladığını gösterir. Bu, modelin genel olarak iyi bir uyum sağladığı ancak bazı durumlarda gözlemlerden önemli ölçüde sapmalar olabileceği anlamına gelmektedir. Şekil 4.8 incelendiğinde, veriler 1:1 hattına göre oldukça dağınık bir dağılım göstermektedir. Modelin, 0.1mm’den küçük verileri daha iyi tahmin ettiği ancak yüksek değerleri tahmin etmede çok başarılı olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.8. Gözlenen ve tahmin edilen bireysel toprak kaybı verileri arasındaki ilişki (66m)

Gözlenen ve tahmin edilen bireysel yüzey akış verileri Çizelge 4.4’de verilmiştir. Gözlenen veriler 2.72 ile 11.10 mm arasında değişmekte olup, ortalama bireysel yüzey akış 6.84mm ve model ile tahmin edilen ortalama bireysel yüzey akış değ Şekil 4.9’ da, kalibre edilmemiş WEPP modeli ile gözlemlenen yüzey akışı değerleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. $R^2 = 0.5491$ olup, bu değer modelin gözlemlenen verilerin yaklaşık %55’ini açıkladığını göstermektedir. Şekil 4.9’da, bazı noktaların çizgiden önemli ölçüde uzaklaştığı görülmektedir. Özellikle ilkbahar ve yaz aylarındaki ekstrem yağışlar, modelin yüksek değerleri düşük, düşük değerleri ise yüksek tahmin etmesine yol açmaktadır. Ayrıca, kurak bölgelerde düşük yağış miktarı nedeniyle yüzey akışı genellikle azdır. Bu durum, nehirlerin debisinin düşük olmasına ve su kaynaklarının sınırlı olmasına yol açmaktadır. Veriler incelendiğinde, bazı ekstrem olayların (13.05.1982’deki 0.61784 kg/m² toprak kaybı ve 28.30 mm yüzey akışı) olduğu görülmektedir. Baffaut ve ark. (2015)’in önerdiği gibi, modelin bu tür ekstrem olayları daha iyi tahmin edebilmesi için kalibrasyon yapılması gerekmektedir.



Şekil 4.9. Gözlenen ve tahmin edilen bireysel yüzey akış verileri arasındaki ilişki (66m)

Bireysel toprak kayıpları için N_{SE} : 0.69 olarak bulunmuştur. Bu sonuç, kalibre edilmemiş WEPP modelinin toprak kaybı tahminlerinde oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Bengert (2003)'ün çalışmasında belirttiği gibi, kalibre edilmemiş WEPP modeli genellikle toprak kayıplarını tahmin etmede güvenilir sonuçlar vermektedir. Bu çalışmadaki yüksek N_{SE} değeri, modelin bölgesel koşullara iyi adapte edildiğini ve toprak özellikleri, iklim verileri ve arazi kullanımı gibi girdilerin doğru bir şekilde kalibre edildiğini göstermektedir.

Yüzey akışı için N_{SE} değeri 0.33mm olup, Moriasi ve ark. (2007)'a göre düşük bir performansı işaret etmektedir. Bu sonuç, modelin yüzey akışı tahminlerinde kalibrasyona ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Nearing ve ark. (2005)'in belirttiği gibi, yüzey akışı tahminlerindeki zorluklar genellikle iklimsel değişkenlikler, toprak nem içeriğindeki dalgalanmalar ve arazi kullanımındaki değişikliklerden kaynaklanabilir. Bu düşük N_{SE} değeri, modelin bu faktörleri yeterince iyi temsil edemediğini gösteriyor olabilir.

Bireysel olaylar arasındaki ilişki değerlendirildiğinde; kalibre edilmemiş modelinin toprak kayıpları tahminindeki başarısı (N_{SE} : 0.69), yüzey akışı tahminindeki performansından (N_{SE} : 0.33) belirgin şekilde daha yüksektir. Bu durum, Flanagan ve ark. (2012)'in kalibre edilmemiş WEPP modelinin farklı bileşenlerinin performansını inceledikleri çalışmalarıyla paralellik göstermektedir.

Modelin toprak erozyonu süreçlerini daha iyi temsil ettiği, ancak hidrolojik süreçlerde iyileştirmeye ihtiyaç duyduğu söylenebilir. Benger (2003)'in çalışmasında belirttiği gibi, WEPP modeli genellikle toprak kayıplarını tahmin etmede güvenilir sonuçlar vermektedir. Bu çalışmadaki yüksek N_{SE} değeri, modelin bölgesel koşullara iyi uyum sağladığını ve toprak özellikleri, iklim verileri ve arazi kullanımı gibi girdilerin doğru bir şekilde kalibre edildiğini göstermektedir.

Ancak, özellikle yüzey akışı için düşük N_{SE} değeri, modelin Bitki örtüsünün mevsimsel değişimi ve toprak neminin mevsimsel dalgalanmalar gibi dinamikleri yeterince iyi yakalayamadığını ifade etmektedir.

4.2.4. 88m Uzunluğundaki Şeve Ait Sonuçlar

4.2.4.1. Bireysel sonuçlar

Bu çalışmada, 1967-1993 dönemleri arasındaki gözlenen toprak kaybı ve yüzey akış verilerinin kalibre edilmemiş WEPP model ile simülasyonu yapılmıştır. Çizelge 4.5'de bireysel olay için tarih, gözlemlenen ve Kalibre edilmemiş WEPP tarafından tahmin edilen toprak kaybı ve yüzey akışı değerleri verilmiştir. 49 gözlenen bireysel toprak kaybı verisi 0.01 ile 0.839 kg/m^2 arasında değişmekte olup, ortalama ise 0.127 kg/m^2 'dir. Kalibre edilmemiş WEPP model ise 40 bireysel toprak kaybı verileri 0.01 ile 3.91 kg/m^2 arasında değişmekte olup, ortalama ise 0.187 kg/m^2 'dir. Model, bazı yıllar için hiç tahminde bulunmamıştır. Eğim uzunluğunun artmasıyla toprak kaybı miktarı artmıştır.

Çizelge 4.5. Gözlenen ve simüle edilen bireysel toprak kaybı sonuçları (66m)

Gözlenen Olay Tarihi	Gözlenen Toprak Kayıpları (kg/m^2)	Gözlenen Yüzey akış(mm)	Kalibre edilmemiş WEPP Toprak Kayıpları (kg/m^2)	Kalibre edilmemiş WEPP Yüzey akış(mm)
23.04.1967	0.01000	0.67	0.1	3.9
02/12/1967	0.01160	8.70	0.03	8.9
01.05.1967		0.68	0.07	3.8
02.05.1967	0.19420	1.82	0.16	1.9
07.05.1967	0.29300	4.92	0.13	7.4
08.05.1967				
12.05.1967	0.56150	6.34	0.15	8.2
21.06.1967		0.09	0.01	
16.04.1968	0.06630	1.59	0.06	1.5
21.04.1968		0.75		2.2

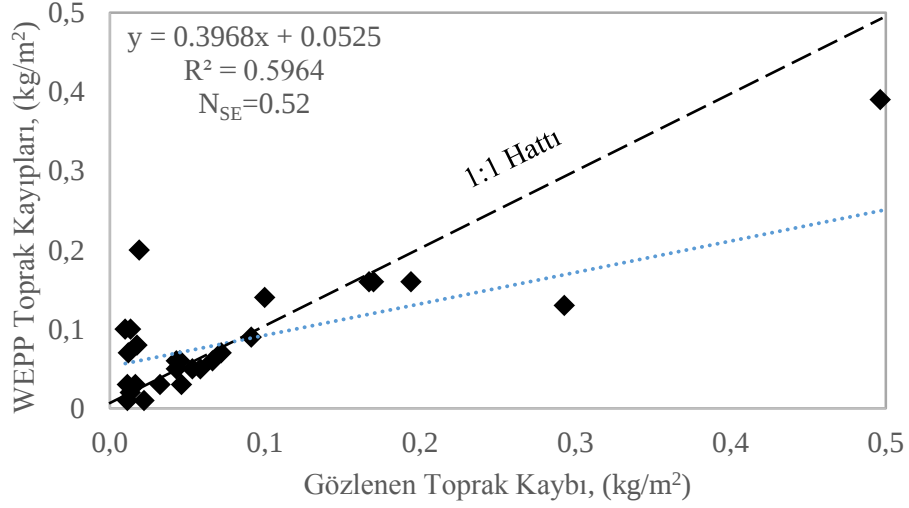
Gözlenen	Gözlenen	Gözlenen	Kalibre edilmemiş	Kalibre edilmemiş
27.05.1968		0.02	0.01	
29.11.1968		0.19		0.2
26.12.1968		0.04	0.05	
12.05.1969	0.07196	4.03	0.07	
18.05.1969	0.04630	1.81	0.03	4.2
23.05.1969	0.02326	1.33		
25.05.1971	0.01765	0.76	0.08	0.4
30.05.1971		0.06		
02.06.1971	0.04314	1.58	0.06	2.6
03.06.1971	0.17008	0.78	0.16	0.5
29.11.1971				1.1
12.12.1971		5.00		6.2
04.07.1971	0.01366	0.64	0.1	0.1
05.07.1972	0.12192	2.17		2.2
29.09.1972	0.05855	0.98	0.05	2.6
17.10.1972	0.01921	0.97	0.2	1.1
19.10.1972	0.01539	1.23		1.5
23.10.1972		0.10		1.4
25.10.1972	0.05334	3.02	0.05	3.1
03.04.1973		0.00		1.1
16.06.1973		6.60		7.5
07.12.1974			0.01	0.5
30.01.1975		0.15		2.6
20.04.1975			0.08	
27.04.1975		3.72		3.2
20.05.1975		0.05		0.3
23.06.1975	0.02214	12.00	0.01	9.7
24.04.1978		2.10		1.6
23.09.1978	0.10000	7.70	0.14	4.6
22.10.1978	0.01669	0.69	0.03	0.5
25.10.1978		2.30		2
27.10.1978		7.50		8.2
24.06.1979	0.01213	4.80	0.07	4.8
25.06.1979	0.01342	0.76	0.02	1.5
11.05.1980	0.16720	3.90	0.16	2.6
12.05.1981	0.04220	5.50		16.8
02.06.1981	0.04304	7.30	0.05	4.4
18.08.1981		3.00		2.1
10.09.1981		17.00		20.3
16.11.1981		2.00	0.28	6
15.12.1981				
17.12.1981		3.00	0.26	13.5
24.04.1982		6.00	0.08	2.4
13.05.1982	0.49673	1.09	0.39	1.5
03.06.1982				0.1
06.06.1982	0.03023	0.75		
30.06.1982		1.10		1.2
25.08.1982	0.59055	1.16	0.28	3.7
29.08.1982	0.09135	7.30	0.09	10.3
26.12.1982		4.00		5.2
06.04.1983		2.21		2.4

Gözlenen	Gözlenen	Gözlenen	Kalibre edilmemiş	Kalibre edilmemiş
15.04.1983			0.02	0.6
03.06.1983		14.00		5.5
06.06.1983		1.53		1.7
13.06.1983	0.04530	20.00	0.06	10.2
04.07.1983				0.4
09.11.1983		2.40	0.02	1.5
13.05.1984	0.01147	0.46	0.01	
29.07.1984		7.79	3.91	6.7
30.07.1984		7.10		3.8
28.05.1985	0.03255	0.57	0.03	0.2
10.06.1986		2.73		3.5
13.06.1986		1.55		1.9
02.06.1987	0.01798	0.76		
25.06.1987	0.01100			
28.05.1989	0.09941	4.03		
01.10.1989	0.09054			
13.09.1990	0.01077	1.40		
18.05.1991	0.20246			
05.06.1991	0.83910			
10.06.1991	0.12265			
02.07.1991	0.05649	1.11		
06.10.1991	0.02978	0.71		
28.06.1992	0.40523	4.14		
01.07.1992	0.56413	7.01		
20.07.1992	0.01090			
10.05.1993	0.02252	1.79		
13.05.1993	0.19763			
19.06.1993	0.02384	0.93		
Ortalama	0.12674	2.8532	0.1860	3.0662

Gözlenen toprak kaybı (kg/m^2) ile Kalibre edilmemiş WEPP toprak kaybı (kg/m^2) arasındaki ilişki Şekil 4.10'da gösterilmiştir. R^2 değeri 0.5964'tür. Grafikteki veriler, 1:1 doğrusal hattından belirgin şekilde sapma göstermektedir. Bu durum, Kalibre edilmemiş WEPP modelinin toprak kaybını tam olarak yansıtamadığını göstermektedir. Özellikle düşük toprak kaybı değerlerinde, model tahminleri gerçek değerlerin altında kalmakta, yüksek değerlerde ise gerçek değerlerin üzerinde tahminler yapmaktadır. Benzer sonuçlar önceki çalışmalardan da elde edilmiştir (Kinnell, 2003; Tiwari et al., 2000; Zhang et al., 1996).

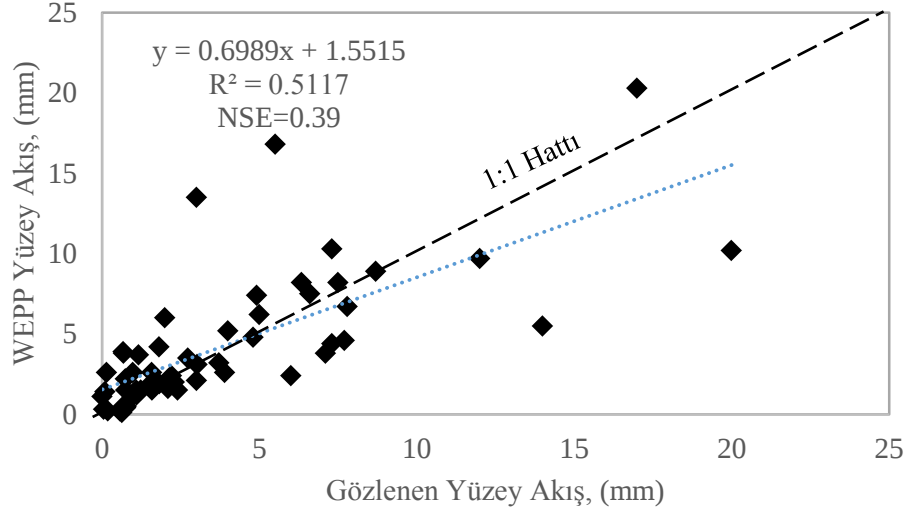
Regresyon denklemindeki eğim katsayısı 0.3968, yani 1'den önemli ölçüde düşüktür. Bu da kalibre edilmemiş WEPP modelinin, özellikle yüksek toprak kaybı değerlerinde, gerçek kaybı sistematik olarak düşük tahmin ettiğini göstermektedir. Nearing (1998), WEPP modelinin toprak kaybı tahminlerinde genellikle yüzey akışı

tahminlerinden daha iyi performans gösterdiğini belirtmiştir ki bu çalışmanın bulguları da bunu desteklemektedir.



Şekil 4.10. Gözlenen ve tahmin edilen bireysel toprak kaybı verileri arasındaki ilişki (88m)

Gözlenen ve tahmin edilen bireysel yüzey akış verilerine ait sonuçlar Çizelge 4.5’de verilmiştir. 74 gözlenen bireysel yüzey akış verisi 0.00 ile 20mm arasında dağılmakta olup, ortalama değer ise 2.85mm’dir. Aynı şekilde, 62 Kalibre edilmemiş WEPP bireysel yüzey akış verisi 0.1 ile 20.3mm arasında dağılım gösterirken ortalama değer ise 3.06mm’dir. En yüksek gözlenen bireysel yüzey akış verisi 1990 yılında meydana gelirken; kalibre edilmemiş WEPP model ile 1985 yılında simüle edilmiştir. 1988 yılında 10.8mm miktarında tek bir yağış olayı simüle etmiştir. Özellikle, 1970 ve 1971 yıllarında yüzey akışın bulunduğu olayları simüle etmemiştir. Bu durum, gözlenen yağışın şiddetinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Kalibre edilmemiş WEPP modeli ile gözlemlenen yüzey akışı değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.11’de verilmiştir. R^2 değeri 0.5117 olup, gözlenen yüzey akışı değerleri ile kalibre edilmemiş WEPP tahmini arasında genel olarak artan bir trend görülmektedir.



Şekil 4.11. Gözlenen ve tahmin edilen bireysel yüzey akış verileri arasındaki ilişki (88m).

Toprak kaybı ve yüzey akış için N_{SE} değerleri sırasıyla 0.53 ve 0.39 olarak bulunmuştur ($N_{SE} > 0.4$). Bulunan bu sonuçlar modelin orta düzeyde performans gösterdiğini işaret etmektedir. Çalışmada kalibrasyonsuz WEPP model ile simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Toprak kayıpları kabul edilebilir düzeyde olup, yüzey akış verileri için modelin parametrelerinin kalibrasyonu gerekmektedir.

4.2.5. Farklı Eğim Uzunluğundaki Şevlere Ait Sonuçlar

Yamaçlarda oluşan yüzey akışın miktarı ve şiddeti, öncelikle yağışların şiddeti ve toprağın hidrolojik özellikleri ile yakından ilişkilidir. Bununla birlikte, şev uzunluğu, bitki örtüsü, toprak yapısı, eğim açısı ve arazi kullanımı gibi diğer faktörler de yüzey akışı etkiler. Şev uzunluğunun etkisi, genellikle diğer faktörlere göre daha az belirgin olabilir ve her durumda aynı şekilde gözlenmeyebilir. Lal'in (1982) çalışmasında belirtildiği gibi, yüzey akış üzerine şev uzunluğunun etkisi bazı durumlarda önemsiz olabileceği gibi, hatta negatif bir etki de yapabilmektedir. Örneğin, uzun şevlerde suyun toprağa sızması için daha fazla zaman ve alan gerektirebilir ve bu da bazı koşullarda yüzey akışı azaltabilir. Bu nedenle, yüzey akışını anlamak ve tahmin etmek için tüm bu faktörlerin etkileşimini dikkate almak önemlidir. Ayrıca, bu konudaki anlayışımızı güncel tutmak için daha yeni araştırmalarında yapılması gerekmektedir.

Şev uzunluğunun artmasıyla, toprak kaybı ve yüzey akışta meydana gelen değişiklikler Çizelge 4.6'da verilmiştir. Hem gözlenen hem de kalibre edilmemişWEPP model ile tahmin edilen en düşük toprak kayıpları 22m uzunluğundaki yamaç üzerinde meydana gelmiştir. Şevin uzunluğunun artmasıyla birlikte toprak kayıpları da artmıştır. 44m uzunluğundaki yamaç üzerinde en yüksek gözlenen bireysel toprak kayıpları (0.215 kg/m^2) meydana gelirken; kalibre edilmemişWEPP model ile en yüksek toprak kayıpları 88m'de (0.187 kg/m^2) olmuştur. Beytepe serisi topraklarının kil içeriği ve su tutma kapasitesi yüksek, erozyona karşı direnci yüksek topraklardan oluşmaktadır (Çizelge 4.6). Toprakta su daha uzun süre tutulmakta ve bunun sonucunda toprak daha kolay aşınmaktadır. Özellikle, mevsimsel değişikliklere bağlı olarak yüksek şiddetli yağışların etkisiyle toprak parçacıkları daha uzun mesafelere taşınmakta ve daha fazla toprak kayıpları meydana gelmektedir.

Yüzey akış incelendiğinde, en yüksek yüzey akışın 44 ve 66m meydana geldiği, şev uzunluğunun artmasıyla (88m) azaldığı görülmektedir (Çizelge 4.6). Uzun eğimlerde birim alana düşen yüzey akışın az olması, toplanma süresine ve yüzey tutunmasına bağlı olarak değişmektedir. Uzun eğimlerdeki bu iki faktör, kısa eğimlere göre daha az yüzey akışına neden olmaktadır.

Çizelge 4.6.Farklı şev uzunluklarında meydana gelen toprak kaybı ve yüzey akışların karşılaştırılması

Parametre	Şev uzunluğu (m)			
	22	44	66	88
Gözlenen toprak kaybı	0.099	0.215	0.144	0.127
Kalibre edilmemişWEPP toprak kaybı	0.063	0.140	0.100	0.187
R ²	0.49	0.64	0.71	0.59
NSE	0.46	0.41	0.69	0.52
Gözlenen yüzey akış	2.96	3.47	6.84	2.85
Kalibre edilmemişWEPP yüzey akış	3.49	3.70	8.43	3.06
R ²	0.59	0.63	0.54	0.52
NSE	0.39	0.51	0.34	0.39

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, farklı uzunluklara ve eğimlere sahip yamaç arazilerdeki toprak erozyonu, kalibre edilmemiş WEPP Hillslope modeli ile tahmin edilmiş ve modelin performansı gözlemlenen verilerle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada Ankara-Beytepe serisi üzerindeki doğal akış parsellerinden elde edilen toprak kaybı ve yüzey akış verileri sunulmuştur. %9 eğimde 22,44,66 ve 88 metre arasındaki eğim uzunlukları için bulunan tahmin edilen değerler, toprak kaybı ile eğim uzunluğu arasındaki ilişkinin kalibre edilmemiş WEPP model ile *iyi*, yüzey akış ile ise *daha az iyi* olarak tahmin edilmiştir. Ankara-Beytepe serisi istasyondan elde edilen veriler için toprak kaybı ile eğim uzunluğu arasındaki ilişkinin R^2 değeri sırasıyla 0.49 (22m), 0.64 (44m), 0.71 (66m) ve 0.59 (88m) olarak bulunmuştur. Yağış şiddeti ve akış, R^2 değerini büyük ölçüde etkilemiştir. R^2 , eğim uzunluğuna göre daha ziyade yağış ve akıştaki farklılıklara karşı daha fazla duyarlılık göstermiştir.

Kalibre edilmemiş WEPP Hillslope model, özellikle toprak kaybı tahminlerinde beklentilere yakın sonuçlar vermiştir. Bu durum, modelin kalibre edilmemiş haliyle bile toprak erozyonunu tahmin etme kapasitesinin olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, kurak iklim koşullarının hakim olduğu çalışma alanında, yüzey akışı ve toprak kaybı tahminlerinin gözlemsel verilerden sapma gösterdiği fark edilmiştir. Bu sapmalar, modelin kurak iklim koşullarında hassasiyetini artırmak için kalibrasyon ihtiyacını düşündürmektedir.

Çalışmada elde edilen bulgular, şev uzunluğunun toprak kayıpları üzerinde belirgin bir etkisi olduğunu göstermektedir. Daha uzun eğimli yamaçlarda, toprak kaybının arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, literatürde sıklıkla belirtilen, eğim uzunluğunun erozyon süreci üzerindeki etkisini desteklemektedir. Ayrıca, eğim derecesinin de erozyon miktarını artırdığı ve bu durumun modelin tahminlerine yansıdığı görülmüştür. Ancak, gözlemsel verilerle bazı noktalarda uyumsuzluk olması, eğim uzunluğu ve eğim derecesinin etkilerinin modelde tam olarak yansıtılabilmesi için daha hassas parametre ayarlamalarının gerekebileceğini ortaya koymaktadır.

Kalibre edilmemiş WEPP modelinin toprak kaybını öngörmeye belirli bir doğruluk sergilemesi, modelin geniş ölçekli tahminlerde kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak, kalibrasyon yapılmadan yüzey akış tahminlerinde önemli sapmaların olması, özellikle hassas yüzey akış tahminleri gereken durumlarda modelin sınırlı bir kullanıma sahip olabileceğini düşündürmektedir. Modelin, farklı iklim ve arazi koşullarında tahmin gücünü artırmak için kalibrasyon gerekliliği öne çıkmaktadır.

Çalışmada elde edilen bulgular, sürdürülebilir arazi yönetimi açısından da önemli çıkarımlar sunmaktadır. Şev uzunluğunun artmasıyla birlikte toprak kaybı miktarının artması, eğimli arazilerde erozyon kontrol önlemlerinin önemini vurgulamaktadır. Modelin kalibre edilmemiş haliyle bile toprak kayıplarını doğruya yakın tahmin edebilmesi, uzun vadeli arazi yönetim planlarında, eğim uzunluğu ve derecesine bağlı olarak erozyon riskinin değerlendirilmesinde WEPP modelinin potansiyel bir araç olabileceğini göstermektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, özellikle kurak bölgelerde kalibrasyon yapılarak modelin yüzey akış performansının artırılması, bu çalışmada elde edilen bulguların doğruluğunu ve uygulanabilirliğini güçlendirebilir. Bu nedenle, ilerleyen araştırmalarda kalibrasyon sürecinin etkilerini incelemek, modelin farklı iklim ve arazi koşullarındaki uygulanabilirliğini daha iyi anlamamıza olanak sağlayacaktır.

6. KAYNAKÇA

- Addis, H.K., Strohmeier, S., Ziadat, F., Melaku, N.D. ve Klik, A. 2016. Modeling streamflow and sediment using SWAT in the Ethiopian highlands. *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, 9 (5), 51–66.
- Aladağ, İ. 2009. Kahramanmaraş yöresi ahır dağı meralarında KALİBRE EDİLMEMİŞWEPP (Water Erosion Prediction Project) yöntemiyle toprak kayıplarının belirlenmesi üzerine araştırmalar (Keklik Deresi Yağış Havzası Örneği). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.
- Albaradeya, I., Azzedine Hani, A. ve Shahrour, I. 2010. KALİBRE EDİLMEMİŞWEPP and ANN models for simulating soil loss and runoff in a semi-arid Mediterranean region. *Environmental monitoring and assessment J.* DOI 10.1007/s10661-010-1804-x.
- Alkimim, A., Sparovek, G. ve Clarke, K.C. 2015. Converting Brazil's pastures to cropland: an alternative way to meet sugarcane demand and to spare forestlands. *Appl. Geogr.*, 62, 75–84.
- Amore, E., Modica, C., Nearing, M. A. ve Santoro, V.C. 2004. Scale effect in USLE and KALİBRE EDİLMEMİŞWEPP application for soil erosion computation from three Sicilian basins. *J. Hydrol.*, 293, 100–114.
- Anache, J.A.A., Flanagan, D.C., Sirivastava, A. ve Wendland, E.C. 2018. Land use and climate change impacts on runoff and soil erosion at the hillslope scale in the Brazilian Cerrado). *Science of the Total Environment*, 622–623, 140–151.
- Anache, J.A.A., Wendland, E.C., Oliveira, P.T.S., Flanagan, D.C. ve Nearing, M.A., 2017. Runoff and soil erosion plot-scale studies under natural rainfall: a meta-analysis of the Brazilian experience. *Catena*, 152, 29–39.
- Anonymous. 2003. Soil quality test kit. Section II. Background & Interpretive for Individual, Tests. Page 2. <http://soils.usda.gov/sqi/files/section2.pdf>
- Arnold, J G., Williams, J R., Nick, A D., Sammons, N. B. 1990. SWRRB: A basin scale simulation model for soil and water resources management. Texas A and M University Press, College Station, pp. 125.

- Arnold, J.G., Allen, P.M. ve Bernhardt, G. 1993. A comprehensive surface-groundwater flow model. *J. Hydrol.*, 142, 47–69.
- Bagarello, V., Ferro, V. ve Flanagan, D.C. 2018. Predicting plot soil loss by empirical and process-oriented approaches. A review. *Journal of Agricultural Engineering*, XLIX, 710
- Bagarello, V., Ferro, V. ve Giordano, G. 2010. Testing alternative erosivity indices to predict event soil loss from bare plots in Southern Italy. *Hydrol. Process.*, 24, 789–797.
- Barbosa, R.S., Júnior, J.M., Barron, V., Filho, M.V.M., Siqueira, D.S., Peluco, R.G., Camargo, L.A., ve Silva, L.S. 2019. Prediction and mapping of erodibility factors (USLE and KALİBRE EDİLMEMİŞWEPP) by magnetic susceptibility in basalt-derived soils in northeastern São Paulo state, Brazil. *Environmental Earth Sciences*, 78, 12.
- Bayramin, İ., O. Dengiz, O. Başkan, M. Parlak., 2003. Soil Erosion Risk Assessment with ICONA Model, Case Study: Beypazarı Area. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27:105-116 p.
- Beasley, D.B., Huggins, L.F. ve Monke, E.J. 1980. ANSWERS: A model for watershed planning. *Trans. ASAE*, 23 (4), 938–944.
- Beasley, D.B., Huggins, L.F. ve Monke, E.J. 1980. Havza planlaması için bir model. *Trans. ASAE*, 23 (4), 938-944.
- Beilicci, E., David, I., Beilicci, R. ve Visescu, M. 2017. Mathematical model for calculation of soil loss on watershed slopes. 16 (10), 2211-2218.
- Belay, K.T., Van Rompaey, A., Poesen, J., Van Bruyssel, S., Deckers, J. ve Amare, K. 2014. Spatial analysis of land cover changes in eastern Tigray (Ethiopia) from 1965 to 2007: are there signs of a forest transition? *Land Degrad. Dev.*, 25, 130–142.
- Beven, K. ve Germann, P. 2013. Macropores and water flow in soils revisited. *Water Resour. Res.*, 49, 3071–3092.
- Bouyoucos, G. J. 1951. A recalibration of the hydrometer for making mechanical analysis of soil *Agron. J.*, 43-49.

- Brunner, A.C., Parka, S. J., Rueckerb, G.R., Dikauc, R. ve Vleka, P.L. 2004. Catenary soil development influencing erosion susceptibility along a hillslope in Uganda. *Catena*, 58, 1-22.
- Carpenter, S.R., Caraco, N.F., Correll, D.L., Howarth, R.W., Sharpley, A.N. ve Smith, V.H.1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecol. Appl.*, 8 (3), 559–568.
- Chaplot, V. A. M., & Le Bissonnais, Y. (2003). Runoff features for interrill erosion at different rainfall intensities, slope lengths, and gradients in an agricultural loessial hillslope. *Soil Science Society of America Journal*, 67(3), 844–851. <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.8440>
- Corine, 2006. Corine Arazi Örtüsü Sayısal Haritası. Çevre ve Orman Bakanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri Şubesi, <http://corine.cevreorman.gov.tr/>.
- Çilek, A.2013. Konumsal bilgi sistemleri yardımıyla Türkiye'nin erozyon modellemesi. Çukurova Üniversitesi fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Çokbaşaran G. ve Kırık S. 1990. Ülkemizdeki erozyon ve DSİ genel müdürlüğü çalışmaları, etüd ve plan dairesi başkanlığı, Ankara, 65-76. Erozyon ve DSİ Genel Müdürlüğü Çalışmaları, Etüd ve Plan Dairesi Başkanlığı, Ankara, 65-76.
- Demir, S. 2016. Kalibre edilmemişWEPP hillslope modeli ile yüzey akış ve toprak kayıplarının belirlenmesi, TOKAT, 211.
- Demir, S., Oğuz, İ., Ciba, Ö.F. ve Özer, E.2017. Farklı arazi kullanımı altında meydana gelen toprak ve yüzey akış kayıplarının Kalibre edilmemişWEPP hillslope modeli kullanılarak tahmin edilmesi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi
- Erkossa, T., Wudneh, A., Desalegn, B. ve Taye, G. 2015. Linking soil erosion to on-site financial cost: lessons from watersheds in the Blue Nile basin. *Solid Earth*, 6, 765–774.
- Erol, A., Babalık, A.A., Sönmez, K. ve Serin, N. 2009. Isparta-Darıderesi havzası topraklarında erozyona duyarlılığın arazi kullanım şekillerine bağlı değişimi. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri: A, 21-36.

- Erosion Prediction Project (KALİBRE EDİLMEMİŞWEPP) Technical Documentation. USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette.
- Ferreira, C.S., Pereira, P., Kalantaric, Z. 2018. Human impacts on soil. *Science of the Total Environment*, 644:830-834.
- Flanagan, D. C. ve Frankenberger, J. R. 2002. Water erosion prediction project (KALİBRE EDİLMEMİŞWEPP) windows interface tutorial usda-Agricultural Research Service ve Purdue University National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, Indiana, USA.
- Flanagan, D. C., Ascough, J. C., Nearing, M. A., Laflen, J. M. 2001. The water erosion prediction project (KALİBRE EDİLMEMİŞWEPP) model. In: Harmon, R. S., Doe, W. W., III (Eds.), *Landscape Erosion and Evolution Modeling*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, pp. 145- 199.
- Flanagan, D.C., Frankenberger, J.R. ve Ascough II, J.C. 2012. KALİBRE EDİLMEMİŞWEPP: mode use, calibration and validation. *Trans. ASABE*, 55 (4), 1463–1477.
- Flanagan, D.C., Gilley, J.E. ve Franti, T.G. 2007. Water erosion prediction project (KALİBRE EDİLMEMİŞWEPP): development history, model capabilities and future enhancements. *Trans. Am. Soc. Agric. Biol. Eng.*, 50, 1603–1612.
- Foster, G.R., Flanagan, D.C., Nearing, M.A., Lane, L.J., Risse, L.M. ve Finkner, S.C. 1995. Hillslope erosion component. In: Flanagan, D.C., Nearing, M.A. (Eds.), *The Water*
- Foster, G.R., Mc Cool, D.K., Renard, K.G., Moldenhauer, W.C. 1991. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 36: 355-359.
- Foster, G.R., Yoder, D.C., Weesies, G.A. ve Toy, T.J. 2001. The design philosophy behind RUSLE2: evolution of an empirical model. In: Ascough IIJ.C., Flanagan, D.C. (Eds.), *Soil Erosion Research for the 21st Century*, Proc. Int. Symp. (3–5 January 2001, Honolulu, HI, USA). ASAE, St. Joseph, MI, 95–98.

- Gabriels, D. 1999. The effect of slope length on the amount and size distribution of eroded silt loam soils: Short slope laboratory experiments on interrill erosion. *Geomorphology*, 28(1–2), 169–172. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(98\)00107-X](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(98)00107-X)
- Ganasri, B.P. ve Ramesh, H. 2015. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - a case study of Nethravathi Basin. *Geosci. Front.*, 7, 953–961.
- Gessesse, B., Bewket, W. ve Bräuning, A. 2016. Determinants of farmers' tree planting investment decisions as a degraded landscape management strategy in the central highlands of Ethiopia. *Solid Earth*, 7, 639–650.
- Gitika, T. ve Ranjan, S., 2014. Estimation of surface runoff using NRCS Curve number procedure in Buriganga Watershed, Assam, India - a geospatial approach. *Int. J. Earth Sci.*, 2 (5), 1–7.
- González, V.I., Carkovic, A.B., Lobo, G.P., Flanagan, D.C. ve Bonilla, C.A. 2016. Spatial discretization of large watersheds and its influence on the estimation of hillslope sediment yield. *Hydrol. Process*, 30, 30–39.
- Haregeweyn, N., Tsunekawa, A., Nyssen, J., Poesen, J., Tsubo, M., Meshesha, D.T., Schütt, B., Adgo, E. ve Tegegne, F., 2015. Soil erosion and conservation in Ethiopia: a review. *Prog. Phys. Geogr.*, 39, 750–774.
- Hengsdijk, H., Meijerink, G.W. ve Mosugu, M.E. 2005. Modeling the effect of three soil andwater conservation practices in Tigray, Ethiopia. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 105, 29–40.
- Horowitz, A.J. ve Elrick, K.A. 1987. The relation of stream sediment surface area, grain sizeand composition to trace element chemistry. *Appl. Geochem.*, 2, 437–451.
- Hughes, C.E. 2017. Are there many different routes to becoming a global biodiversity hotspot? *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 114, 4275–4277.
- Jemberu, W., Baartman, J., Fleskens, L., Gebreselassie, Y. ve Ritsema, C., 2017. Assessing the variation in bund structure dimensions and its impact on soil physical properties and hydrology in Koga catchment, highlands of Ethiopia. *Catena*, 157, 195–204.

- Jones, P.G. ve Thornton, P.K. 2013. Generating downscaled weather data from a suite of climate models for agricultural modelling applications. *Agric. Syst.*, 114, 1–5.
- Jónsson, J.Ö. Davíðsdóttir, B., Jónsdóttir, E.M. Kristinsdóttir, S.M. Ragnarsdóttir, K.V. 2016. Soil indicators for sustainable development: A transdisciplinary approach for indicator development using expert stakeholders. *Agriculture, Ecosystems, Environment*, 232: 179-189.
- Kebede, W. 2014. Effect of soil and water conservation measures and challenges for its adoption: Ethiopia in focus. *J. Environ. Sci. Technol.*, 7, 185–199.
- Keesstra, S., Pereira, P., Novara, A., Brevik, E.C., Azorin-Molina, C., Parras-Alcántara, L., Jordán, A. ve Cerdà, A. 2016. Effects of soil management techniques on soil water erosion in apricot orchards. *Sci. Total Environ.*, 551–552, 357–366.
- Kim, J., Ivanov, V.Y. ve Fatichi, S. 2016. Environmental stochasticity controls soil erosion variability. *Sci. Rep.*, 6, 22065.
- Kinnell, P.I.A. 2007. Sediment delivery from hillslopes and the universal soil loss equation: some perceptions and misconceptions. *Hydrol. Process*, 22 (16), 3169–3175.
- Kinnell, P.I.A. 2010. Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: a review. *J. Hydrol.*, 385, 394–397.
- Kinnell, P.I.A. 2014. Modelling event soil loss using the QREI30 index within RUSLE2. *Hydrol. Process*, 28, 2761–2771.
- Kinnell, P.I.A. 2017. A comparison of the abilities of the USLE-M, RUSLE2 and KALİBRE EDİLMEMİŞWEPP to model event erosion from bare fallow areas. *Sci. Total Environ.*, 596–597, 32–42.
- Kinnell, P.I.A. ve Risse, L.M. 1998. USLE-M: empirical modelling rainfall erosion through runoff and sediment concentration. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62, 1667–1672.
- Kinnell, P.I.A., Wang, J. ve Zheng, F. 2018. Comparison of the abilities of KALİBRE EDİLMEMİŞWEPP and the USLE-M to predict event soil loss on steep loessal slopes in China. *Catena*, 171, 99–106.

- Kinnell, P.L.A. 2019. CLIGEN as a weather generator for RUSLE2. *Catena*, 172, 877–880.
- Knisel, W. G. 1980. CREAMS: A Field Scale Model for Chemicals, Runoff and Erosion USDA, Washington D.C. 643.
- Laflen, J.M., Lane, J.L. ve Foster, G.R. 1991. KALİBRE EDİLMEMİŞWEPP–A new generation of erosion prediction technology. *J. Soil Water Cons.*, 46 (1), 34–38.
- Lal, R. 1988. Soil erosion research methods. soil and water conservation association, Ankeny, Iowa, 244.
- Lal, R. 1988. Soil erosion research methods. Soil and Water Conservation Society, Iowa, USA.
- Lal, R. 1994. Soil erosion research methods. St. Lucie Press. Soil and Water Conservation Society, Delray Beach. Ankeny, 340.
- Lane, L. J., Nearing, M. A. 1989. KALİBRE EDİLMEMİŞWEPP profile model documentation. NSERL Report No. 2. Ind.: USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, W. Lafayette.
- Lapola, D.M., Martinelli, L.A., Peres, C.A., Ometto, J.P.H.B., Ferreira, M.E., Nobre, C.A., et al. 2013. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. *Nat. Clim. Chang.*, 4, 27–35.
- Li, P., Mu, X., Holden, J., Wu, Y., Irvine, B., Wang, F., Gao, P., Zhao, G. ve Sun, W. 2017. Comparison of soil erosion models used to study the Chinese Loess Plateau. *Earth-Science Reviews*, 170, 17–30.
- Li, Z. ve Fang, H. 2016. Impacts of climate change on water erosion: a review. *Earth Sci. Rev.*, 163, 94–117.
- Lin, L., Deng, Z.Q. ve Gang, D.D. 2009. Nonpoint source pollution. *Water Environ. Res.*, 81 (10), 1996–2018.
- Loarie, S.R., Lobell, D.B., Asner, G.P., Mu, Q. ve Field, C.B. 2011. Direct impacts on local climate of sugar-cane expansion in Brazil. *Nat. Clim. Chang.*, 1, 105–109.
- Lobo, G. ve Bonilla, C.A. 2019. Predicting soil loss and sediment characteristics at the plot and field scales: Model description and first verifications. *Catena*, 172, 113–124.

- Lobo, G.P., Bonilla, C.A. 2018. Predicting soil loss and sediment characteristics at the plot and field scales: Model description and first verifications. *Catena*, 172: 113-124.
- Mahmoodabadi, M. ve Cerdà, A. 2013. Geoderma Kalibre edilmiş WEPP calibration for improved predictions of interrill erosion in semi-arid to arid environments. *Geoderma*, 204-205, 75–83.
- Mankin, K.R. 2000. An integrated approach for modelling and managing golf course water quality and ecosystem diversity. *Ecol. Model.*, 133 (3), 259–267.
- Melaku, N., D., Renschler, C.S., Flagler, J. ve Bayu, W. 2018. Integrated impact assessment of soil and water conservation structures on runoff and sediment yield through measurements and modeling in the Northern Ethiopian highlands. *Catena*, 169, 140–150.
- Melaku, N.D., Renschler, C.S., Flagler, J., Bayu, W. ve Klik, A. 2018. Integrated impact assessment of soil and water conservation structures on runoff and sediment yield through measurements and modeling in the Northern Ethiopian highlands. *Catena*, 169, 140–150.
- Merritt, W.S., Letcher, R.A. ve Jakeman, A.J. 2003. A review of erosion and sediment transport models. *Environ. Model. Softw.*, 18, 761–799.
- Mirus, B.B. ve Loague, K. 2013. How runoff begins (and ends): characterizing hydrologic response at the catchment scale. *Water Resour. Res.*, 49, 1–20.
- Nearing, M.A., Foster, G.R., Lane, L.J. ve Finckner, S.C. 1989. A process-based soil erosion model for USDA-water erosion prediction technology. *Trans. ASAE*, 32 (5), 1587–1593.
- Nearing, M.A., Govers, G. ve Norton, L.D. 1999. Variability in soil erosion data from replicated plots. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63, 1829–1835.
- Nearing, M.A., Jetten, V., Baffaut, C., Cerdan, O., Couturier, A., Hernandez, M., Le Bissonnais, Y., Nichols, M.H., Nunes, J.P., Renschler, C.S., Souchere, V. ve van Oost, K. 2005. Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover. *Catena*, 61 (2–3), 131–154.

- Nearing, M.A., Pruski, F.F. ve O'Neal, M.R. 2004. Expected climate change impacts on soil erosion rates: a review. *J. Soil Water Conserv.*, 59 (1), 43–50.
- Nigussie, Z., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Adgo, E., Nohmi, M., Tsubo, M., Aklog, D., Meshesha, D.T. ve Abele, S. 2017. Farmers' perception about soil erosion in Ethiopia. *Land Degrad. Dev.*, 28, 401–411.
- Nyssen, J., Poesen, J., Mitiku, H., Moeyersons, J., Deckers, J., 2000. Tillage erosion on slopes with soil conservation structures in the Ethiopian highlands. *Soil Tillage Res.* 57 (3), 115–127.
- Oğuz İ., Acar M; GOÜ, Ziraat Fakültesi Dergisi, 2011, 28(2), 171-178 171 Tokat Kazova Koşullarında Farklı Arazi Kullanım Türlerinin Bazı Toprak Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması İrfan OĞUZ, Mert ACAR Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak ve Bitki Besleme Bölümü, Tokat
- Oğuz, İ. 1997. Tokat yöresinde koluviyal toprak grubunda üniversal denklemin K, R, C ve P faktörleri. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Araştırma Yıllığı 1996. Yayın No 102, 69-79, Ankara.
- Oğuz, İ., 1993. Köy Hizmetleri Tokat Araştırma Enstitüsü Arazisinin Toprak Etüdü, Haritalaması ve Sınıflandırılması. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. Tokat, 34s
- Oliveira, P.T.S., Nearing, M.A., Hawkins, R.H., Stone, J.J., Rodrigues, D.B.B., Panachuki, E., et al., 2016. Curve number estimation from Brazilian Cerrado rainfall and runoff data. *J. Soil Water Conserv.* 71, 420–429.
- Oliveira, P.T.S., Nearing, M.A., Wendland, E., 2015. Orders of magnitude increase in soil erosion associated with land use change from native to cultivated vegetation in a Brazilian savannah environment. *Earth Surf. Process. Landf.* 40, 1524–1532.

- Özsoy, G. 2007. Uzaktan algılama (ua) ve coğrafi bilgi sistemi (cbs) teknikleri kullanılarak erozyon riskinin belirlenmesi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. Sediment Yield in a Sample Watershed in Kahramanmaraş Region, International Congress River Basin Management, 2, 11-22.
- Paleari, S. 2017. Is the European Union protecting soil? A critical analysis of Community environmental policy and law. *Land Use Policy*, 64: 163-173.
- Pandey, A., Himanshu, S.K., Mishra, S.K., Singh, V.P., 2016. Physically based soil erosion and sediment yield models revisited. *Catena* 147, 595–620.
- Pieri, L., Bittelli, M., Wu, J.Q., Dun, S., Flanagan, D.C., Pisa, P.R., Ventura, F., Salvatorelli, F., 2007. Using the Water Erosion Prediction Project (KALİBRE EDİLMEMİŞWEPP) model to simulate fieldobserved runoff and erosion in the Apennines mountain range, Italy. *J. Hydrol.* 336 (1–2), 84–97.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., MsNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., Blair, R., 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267, 1117–1123.
- Poitras, V., Sushama, L., Seglenieks, F., Khaliq, M.N., Soulis, E., 2011. Projected changes to streamflow characteristics over western Canada as simulated by the Canadian RCM. *J. Hydrometeorol.* 12 (6), 395-141.
- Polyakov, V.O., Nearing, M.A., 2003. Sediment transport in rill flow under deposition and detachment conditions. *Catena* 51, 33–43.
- Quinton, J.N., Govers, G., Van Oost, K. ve Bardgett, R.D. 2010. The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. *Nat. Geosci.*, 3, 311–314.
- Rakshit, A., Abhilash, P.C., Singh, H.B., Ghosh, S. 2017. Managing soil resources for sustainable development adaptive soil management: from theory to practices. *J. Clean. Prod.* 174:199-200.
- 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). In: U.S. Department of Agriculture Agricultural Handbook. No. 703 US Department of Agriculture, Washington, DC.

- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., Porter, J.P., 1991. RUSLE revised universal soil loss equation. *J. Soil Water Conserv.* 46 (1).
- Renschler, C.S., 2003. Designing geo-spatial interfaces to scale process models: the Geo KALİBRE EDİLMEMİŞWEPP approach. *Hydrol. Process.* 17 (5), 1005–1017.
- Renschler, C.S., Flanagan, D.C., Engel, B.A., Frankenberger, J.R., 2002a. GeoKALİBRE EDİLMEMİŞWEPP: The Geospatial Interface to the Water Erosion Prediction Project. ASAE Paper No. 022171. ASAE, St. Joseph, Mich.
- Schmalz, H.J., Taylor, R.V., Johnson, T.N., Kennedy, P.L., Debano, S.J., Newingham, B.A., McDaniel, P.A., 2013. Soil morphologic properties and cattle stocking rate affect dynamic soil properties. *Rangel. Ecol. Manag.* 66, 445–453.
- Sediment Yield in a Sample Watershed in Kahramanmaraş Region, *International Congress River Basin Management*, Vol 2, 11-22 p.
- Soil Survey Staff, 1951. *Soil Survey Manual*. US. Dept. Agr. Handbook No: 18, US. Government Print Office, Washington.
- Souksakoun, K., 2008. Soil Loss Assessment at Regional Scale for Different Land Use/Cover Types; Case study in Lomsak district. Phetchabun, Thailand. *Science in Geo-information Science and Earth Observation*, 82 p.
- Spaeth, K.E., Pierson, F.B., Weltz, M.A., Blackburn, W.H., 2003. Evaluation of USLE and RUSLE estimated soil loss on rangeland. *J. Range Manag.* 56 (3), 234–246.
- Stroosnijder, L., 2005. Measurement of erosion: is it possible? *Catena* 64, 162–173.
- Taguas, E.V., Guzmán, E., Guzmán, G., Vanwalleghe, T., Gómez, J.A., 2015. Characteristics and importance of rill and gully erosion: a case study in a small catchment of a marginal olive grove. *Cuad. Investig. Geogr.* 41-20. <http://dx.doi.org/10.18172/cig.2644>.
- Tesfaye, A., Deneke, T.T., Selassie, Y.G., 2014a. Determinants of maintenance decision of introduced soil and water conservation practices in Fagita Lekoma District, North west highlands of Ethiopia. *Ethiop. J. Appl. Sci. Technol.* 5, 1–17.

- Teshome, A., de Graaff, J., Ritsema, C., Kassie, M., 2016. Farmers' perceptions about the influence of land quality, land fragmentation and tenure systems on sustainable land management in the north western Ethiopian highlands. *Land Degrad. Dev.* 27, 884–898. <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2298>.
- Tiwari, A.K., Risse, L.M., Nearing, M.A., 2000. Evaluation of KALİBRE EDİLMEMİŞWEPP and its comparison with USLE and RUSLE. *Trans. ASAE* 43 (5), 1129–1135.
- Tüzüner, A. 1990. Toprak ve Su Analiz Laboratuvarları El Kitabı. T.C. Tarım Orman ve Köyşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü. sf : 21-27.
- Use/Cover Types; Case study in Lomsak district. Phetchabun, Thailand. *Science in Geo-information Science and Earth Observation*, 82 p.
- Vanwalleghe, T., Gómez, J.A., Infante Amate, J., González de Molina, M., Vanderlinden, K., Guzmán, G., et al., 2017. Impact of historical land use and soil management change on soil erosion and agricultural sustainability during the Anthropocene. *Anthropocene* 17, 13–29.
- Wang, L., Cherkauer, K.A., Flanagan, D.C. 2018. Impacts of climate change on soil erosion in the Great Lakes Region. *Water*, 10:6, 715.
- Watkins, D. (1989). The role of confirmatory factor analysis in cross-cultural research. *International Journal of Psychology*, 24, 685–701. DOI: 10.1080/00207598908247839
- Wilby, R.L., Troni, J., Biot, Y., Tedd, L., Hewitson, B.C., Smith, D.M., et al., 2009. A review of climate risk information for adaptation and development planning. *Int. J. Climatol.* 29, 1193–1215.
- Wischmeier, W.C., 1976. Use and misuse of the universal soil loss equation. *J. Soil Water Conserv.* 31, 5–9.
- Wischmeier, W.C., Smith, D.D., 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Am. Geophys. Union* 39, 285–291.
- Wischmeier, W.C., Smith, D.D., 1965. Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains. *Agricultural Handbook no. 282*. US Dept. Agric., Washington, DC.

- Wischmeier, W.H., 1976. Use and Misuse of the Universal Soil equation. *Journal of Soil and Water Conservation*. 31 (1), 5-9 p.
- Woldeamlak, B., Stroosnijder, L., 2003. Effects of agro-ecological land use succession on soil properties in the Chemoga watershed, Blue Nile basin, Ethiopia. *Geoderma* 111, 85–98.
- Wu, S;Chen, L;Wang, N;Yu, M;Assouline, S.2018. Modeling Rainfall-Runoff and Soil Erosion Processes on Hillslopes With Complex Rill Network Planform. RESEARCH ARTICLE 10.1029/2018WR023837
- Xiao, H;Liu, G;Liu, P;Zheng, F;Zhang, J;Hu, F.2017. Developing equations to explore relationships between aggregate stability and erodibility in Ultisols of subtropical China. *Catena* 157 (2017) 279–285
- Yeshaneh, E., Eder, A., Blöschl, G., 2014. Temporal variation of suspended sediment transport in Koga catchment, north western Ethiopia and environmental implications. *Hydrol. Process.* 28, 5972–5984. <http://dx.doi.org/10.1002/hyd.10090>.
- Yeşil, M. Ve Yılmaz, H., 2013. Tozanlı Havzası Tokat-Almus ilçesi ekolojik temelli kırsal peyzaj planlaması. *OÜ Akademik Ziraat Dergisi*, 2013, 2(2), 63-74.
- Youlton, C., Wendland, E., Anache, J.A.A., Poblete-Echeverría, C., Dabney, S., 2016b. Changes in erosion and runoff due to replacement of pasture land with sugarcane crops. *Sustain. For.* 8.
- Young, R. A., Onstad, C. A., Bosch, D. D., Anderson, W. P. 1987. AGNPS: An agricultural nonpoint source pollution model: A large watershed analysis tool. *USDA Cons. Res. Rept.*, 35, pp. 77.
- Young, R.A., Onstad, C.A., Bosch, D.D. and Anderson, V.P. (1989). AGNPS – A Non-Point Source Pollution Model for Evaluating Agricultural Watersheds. *J. Soil Water Conserv.*: 44 (2): 168 – 173.
- Yu, B., 2002. Using CLIGEN to generate RUSLE climate inputs. *Trans. ASAE* 45 (4), 993–1001.
- Yüksel, A., Akay, A.E., Gündoğan, R., Reis, M. ve Çetiner, M., 2008. Application of GeoKALİBRE EDİLMEMİŞWEPP for Determining Sediment Yield and Runoff

in the Orcan Creek Watershed in Kahramanmaraş, Turkey. Sensors, 8, 1222-1236 p.

Yüksel, A., Akay, A.E., Reis, M., Gündoğan, R., 2007. Using The KALİBRE EDİLMEMİŞWEPP Model To Predict.

Zhang, X.C., Nearing, M.A., Risse, L.M., McGregor, K.C., 1996. Evaluation of KALİBRE EDİLMEMİŞWEPP runoff and soil loss predictions using natural runoff plot data. Trans. ASAE 39 (3), 855–863.

