



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

COĞRAFYA ANA BİLİM DALI

**RUSLE TOPRAK KAYBI TAHMİNİ VE CHELSA KÜRESEL
İKLİM TAHMİNİ MODELLERİ KULLANILARAK
KIZILIRMAK HAVZASI'NIN 2040-2060 VE 2060-2080
DÖNEMLERİ TOPRAK EROZYONUNUN
TAHMİN EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan

Mehmet KACAR

Danışman

Doç. Dr. Orhan Mete KILIÇ

TOKAT-2023

ÖNSÖZ

Toprak erozyonu özellikle su, rüzgâr, buzul, kütle hareketleri gibi farklı birtakım yönlendirici etmenlerle toprağın üst kısmının bir yerden başka bir yere taşınmasını ifade eder. Erozyon bitki, hayvan ve mikroorganizmaları azaltmak suretiyle doğal alanlarda, tarım ve orman alanlarında toprağın kalitesi ile arazinin verimliliğini düşürmekte olan doğa olayıdır. Türkiye’de, arazinin batıdan-doğuya doğru ortalama yükseltisinin artması ve arazinin engebeli bir yapıya sahip olması ülke sınırları içindeki toprağın yağışlar tarafından devamlı olarak erozyona uğramasına sebebiyet vermektedir. Ayrıca insan uygulamaları etkisi ile yanlış arazi kullanımından dolayı hızlandırılmış erozyon miktarı da azımsanmayacak şekilde artmaktadır. Son yıllarda etkisi daha fazla hissedilmeye başlanılan küresel iklim değişikliği ve bunun sonucunda yağış miktarındaki değişimlerin toprak erozyonu üzerindeki etkisi ortadadır. Bu durum, toprak erozyonunun gelecekte de insanlığın karşısına problem olarak çıkmasına sebep olacaktır.

Kızılırmak nehri, ülkemiz sınırları içinde doğup ve yine ülkemiz sınırları içinde denize dökülen en uzun akarsuyumuzdur. Ayrıca Kızılırmak havzası Türkiye’nin önemli 26 havzasından biri konumundadır. Bu havza içerisinde önemli yerleşim, sanayi ve tarım alanlarını bulunmasının yanı sıra sosyo-kültürel ve ekonomik olarak ülke içinde önemli katkıları bulunan bir havzadır. Bu doğrultuda, havzanın sürdürülebilir kullanımı için önemli çevresel etkileri olan toprak erozyonunun boyutlarının geleceğe yönelik olarak belirlenmesi ve buna yönelik yönetim kararlarının alınması önem arz etmektedir.

Tez çalışmam sürecinde, öncelikle yüksek lisans tez danışmanlığımı kabul ederek bana kendisiyle çalışma fırsatı veren, tez konusunun içeriğinin şekillenmesinde büyük emek sahibi hocam Sayın Doç. Dr. Orhan Mete KILIÇ’a katkıları, destekleri ve yol göstericiliğinden ötürü şükranlarımı sunarım. Ayrıca tez çalışmam esnasında benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen eşime ve motivasyon kaynağı olan kızıma teşekkür ederim.

Mehmet KACAR

Tokat-2023

ÖZET

RUSLE TOPRAK KAYBI TAHMİNİ VE CHELSA KÜRESEL İKLİM TAHMİNİ MODELLERİ KULLANILARAK KIZILIRMAK HAVZASI'NIN 2040-2060 VE 2060-2080 DÖNEMLERİ TOPRAK EROZYONUNUN TAHMİN EDİLMESİ

Mehmet KACAR

Yüksek Lisans, Lisansüstü Enstitüsü, Coğrafya Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Orhan Mete KILIÇ

Kasım 2023

Toprak erozyonu, dünya üzerindeki toprakların zaman içinde rüzgar, su, buz ve insan faaliyetleri gibi etkenlerle kaybına neden olan ciddi bir çevresel sorundur. Bu süreç, tarımsal verimliliği azaltır, su kaynaklarını kirletir, ekosistemlere zarar verir, iklim değişikliğine katkıda bulunur ve insan yerleşimlerini tehdit etmektedir. Toprak erozyonunun önlenmesi ve kontrolü, sürdürülebilir çevresel yönetimin kritik bir parçasıdır. Bu nedenle toprak erozyonunun önemi, dünya çapında doğal kaynakları ve insan yaşamını etkileyen küresel bir sorun olarak vurgulanmaktadır. Bu araştırmada Kızılırmak Havzası'nın güncel ve gelecekteki toprak kayıpları Revize edilmiş toprak kaybı denklemi (RUSLE) kullanılarak mekânsal boyutta tahmin edilmiş ve sürdürülebilir çevresel yönetim için tedbirler tartışılmıştır. İlk olarak RUSLE modeline göre Kızılırmak Havzası'nın güncel toprak kaybı CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) kullanılarak mekânsal boyutta hesaplanmış, ardından ikinci aşamada ise CCSM-4 iklim modelinin RCP4.5 senaryosu kullanılarak gelecek dönem (2040-2060, 2060-2080) toprak kaybı haritalandırılmıştır. Sonuç olarak çalışma alanında oluşan toprak kayıpları 2020 döneminde yıllık ortalama 0,528 (ton/ha/yıl), 2040-2060 döneminde 0,504 (ton/ha/yıl) ve 2060-2080 döneminde ise 0,482 (ton/ha/yıl) olarak hesaplanmıştır. 2020 ile 2060-2080 dönemleri arasında 0,46 (ton/ha/yıl) bir azalma yaşanmıştır. Bunun sebebi ise CCSM-4 iklim modelinin gelecek dönemleri küresel ısınmadan dolayı yağış miktarındaki azalmayı öngörmesinden kaynaklanmaktadır. Her ne kadar erozyon miktarında bir azalma yaşanacağı tahmin edilse de uzun yıllar yaşanacak toplam erozyon miktarının Kızılırmak Havzası için büyük risk oluşturacağı öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Toprak Erozyonu, Kızılırmak Havzası, RUSLE Modeli, CHELSA Küresel İklim Tahmin Modeli, Coğrafi Bilgi Sistemleri.

ABSTRACT

FORECASTING SOIL EROSION OF THE KIZILIRMAK BASIN FOR THE 2040-2060 AND 2060-2080 PERIODS USING RUSLE SOIL LOSS FORECAST AND CHELSA GLOBAL CLIMATE FORECAST MODELS

Mehmet KACAR

Master's Degree, Graduate Institute, Department of Geography

Thesis advisor

Assoc. Dr. Orhan Mete KILIÇ

November 2023

Soil erosion is a serious environmental problem that causes the loss of soil on Earth over time due to factors such as wind, water, ice and human activities. This process reduces agricultural productivity, pollutes water resources, damages ecosystems, contributes to climate change and threatens human settlements. Prevention and control of soil erosion is a critical part of sustainable environmental management. The importance of soil erosion is therefore highlighted as a global problem affecting natural resources and human life worldwide. In this research, current and future soil losses of the Kızılırmak Basin were estimated at a spatial scale using the Revised Soil Loss Equation (RUSLE) and measures for sustainable environmental management were discussed. Firstly, according to the RUSLE model, the current soil loss of the Kızılırmak Basin was calculated on a spatial scale using GIS (Geographic Information Systems), and then in the second stage, the future soil loss was mapped using the RCP4.5 scenario of the CCSM-4 climate model. As a result, the annual average of soil losses in the study area was calculated as 0.528 (ton/ha/year) in the 2020 period, 0.504 (ton/ha/year) in the 2040-2060 period and 0.482 (ton/ha/year) in the 2060-2080 period. There was a decrease of 0.46 (tons/ha/year) between 2020 and 2060-2080. The reason for this is that the CCSM-4 climate model predicts a decrease in the amount of precipitation due to global warming in the future. Although it is estimated that there will be a decrease in the amount of erosion, it is predicted that the total amount of erosion that will occur for many years will pose a great risk for the Kızılırmak Basin.

Key words: Soil Erosion, Kızılırmak Basin, RUSLE Model, CHELSA Global Climate Prediction Model, Geographic Information Systems.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
FOTOĞRAFLAR LİSTESİ.....	ix
1-GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
2.1.Toprak Erozyonu ve Önemi	3
2.2.Erozyona Uğrayan Toprakların Hesaplanmasında Kullanılan Tahmin Modelleri .	5
2.3.chelsea küresel iklim tahmin modeli.....	9
2.4.İklim Değişikliği ve Erozyon	11
3. MATERYAL VE METOT	13
3.1.Yenilenmiş Evrensel Toprak Kaybı Denkleminin Aşamaları.....	15
3.1.1.Erozyona Neden Olan Eroziyon Yağış Miktarı (R).....	15
3.1.2.Toprak Direnç Faktörü (K).....	16
3.1.3.Topografik Faktör (LS)	17
3.1.4.Arazi Örtüsü Ve İdari Uygulama Faktörü (C).....	18
3.1.5.Koruma Desteği Uygulama Faktörü (P).....	19
3.2.Küresel İklim Senaryolarının Hazırlanması	19
3.3.Gelecek Dönem (2050-2070) Toprak Kayıplarının Hesaplanması.....	19
4.ARAŞTIRMA SAHASININ GENEL ÖZELLİKLERİ	21
4.1.Çalışma Sahasının Tanıtımı	21
4.1.1. Kızılırmak Havzasının Fiziksel Özellikleri	22

4.1.2.Kızılırmak Havzasının İklimi	23
4.1.3.Kızılırmak Havzasında Bulunan Su Kaynakları.....	23
4.1.4.Kızılırmak Havzası'nın Bitki Örtüsü.....	26
4.1.5.Kızılırmak Havzasının Toprak Yapısı.....	27
5.BULGULAR VE TARTIŞMA	29
5.1. Yağış Eroziyon (R) Faktörü.....	29
5.2. 2050 ve 2070 dönemleri Yağış Eroziyon (R) Faktör Projeksiyonu.....	31
5.3. Toprak Direnç (K) Faktörü	32
5.4. Yamaç Eğim Uzunluğu (L) ve Eğim Derecesi (S) Faktörü	33
5.5. C-Faktörü (Bitkisel Örtü ve Ürün Faktörü)	34
5.6. P (Koruma uygulamaları) değeri.....	37
5.7. KIZILIRMAK HAVZASININ TOPRAK EROZYONU	37
5.8. Kızılırmak Havzasının Güncel(2020)-2050 ve 2070 yılları Toprak Kaybının Karşılaştırılması	40
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	49
KAYNAKÇA.....	52
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. R Faktör Akış Şeması	13
Şekil 2. Kızılırmak Havzası SYM (Sayısal Yükselti Modeli) Haritası	15
Şekil 3. “K” Faktör Değerlerinin Hesaplanmasında Kullanılan Formül	17
Şekil 4. L S Faktör Değerlerinin Hesaplanmasında Kullanılan Formüller (Özden, 1997)	18
Şekil 5. Kızılırmak Havzası'nın Lokasyon Haritası	22
Şekil 6. Kızılırmak Havzasını Besleyen Su Kaynakları (Arslan ve diğ., 2016).....	24
Şekil 7. Kızılırmak Havzasının Güncel ve Gelecek Dönem R Faktör Haritası	30
Şekil 8. Kızılırmak Havzasının K Faktörü Haritası	32
Şekil 9. Kızılırmak Havzasının LS Faktörü Haritası	34
Şekil 10. Kızılırmak Havzası C Faktör Haritası	37
Şekil 11. Kızılırmak Havzasının Güncel Toprak Kaybı Haritası	40
Şekil 12. Çalışma Alanındaki Erozyonun Güncel Ve Gelecek Yıllar Arasındaki Yüzdelik Değişimleri	43
Şekil 13. Çalışma Sahasındaki Güncel Ve Gelecek Dönemlerdeki Erozyon Değerleri .	44

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Kızılırmak Havzasının Fiziksel Özellikleri (Anonim, 2019)	22
Tablo 2. Kızılırmak Havzası Dere ve Çayları (Anonim, 2019).....	24
Tablo 3. Kızılırmak Nehri Üzerinde Bulunan Barajlar (Enerji atlası, 2021).....	26
Tablo 4. Kızılırmak Havzasındaki Büyük Toprak Grupları (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019)	28
Tablo 5. Kızılırmak Havzası (R) Faktör Değerleri	29
Tablo 6. R Faktörü Değer Aralıkları.....	31
Tablo 7. Kızılırmak Havzasının 2050-2070 Dönemleri Projeksiyon (R) Değerleri.....	31
Tablo 8. Kızılırmak Havzası K Faktör Değerleri	32
Tablo 9. Kızılırmak Havzası LS Faktör Değerleri.....	33
Tablo 10. Kızılırmak Havzasının C Faktör Değerleri Ve Arazi Örtü Sınıfları.....	35
Tablo 11. Kızılırmak Havzasının C Faktör Değerleri.....	36
Tablo 12. Kızılırmak Havzasında Meydana Gelen Toprak Erozyonunun İllere Göre Dağılımı (Erpul G., 2016).....	39
Tablo 13. Meydana Gelen Toprak Kaybının Değer Aralıkları	41
Tablo 14. Kızılırmak Havzasının Güncel Dönem ve Gelecek Dönemler Arındaki Erozyonun Karşılaştırılması	41
Tablo 15. Kızılırmak Havzasında Güncel RUSLE Yöntemine Göre Potansiyel Toprak Kaybı Değer Aralığı.....	45
Tablo 16. Kızılırmak Havzasında 2050 Yılı RUSLE Yöntemine Göre Potansiyel Toprak Kaybı Değer Aralığı.....	45
Tablo 17. Kızılırmak Havzasında 2070 Yılı RUSLE Yöntemine Göre Potansiyel Toprak Kaybı Değer Aralığı.....	45

FOTOĞRAFLAR LİSTESİ

Fotoğraf 1. Kızılırmak Nehrinin Doğduğu İlçeden Bir Görünüm (Sivas-İmranlı).....	21
Fotoğraf 2. Kızılırmak Nehrinin Oluşturduğu Delta Ovası (Google Maps).....	26
Fotoğraf 3. Kızılırmak Havzasının Bitki Örtüsünden Bir Görünüm (Kayseri, Kocasinan)	27
Fotoğraf 4. Kızılırmak Havzası'nda ağaçlandırma çalışmaları (Zara-Hafik Yolu).....	48



1-GİRİŞ

Toprak erozyonu özellikle su, rüzgâr, buzul, kütle hareketleri gibi farklı birtakım yönlendirici etmenlerle toprağın üst kısmının bir yerden başka bir yere taşınmasını ifade eder. Erozyon bitki, hayvan ve mikroorganizmaları azaltmak suretiyle doğal alanlarda, tarım alanlarında ve orman alanlarında toprak kalitesini ve dolayısıyla arazinin verimliliğini düşürmektedir (Zeng et al. 2017). Aynı zamanda su kaynaklarının üzerinde de su kalitesini azaltıcı etkiler sergilemektedir. Bu nedenle toprak erozyonu, insanın hayatta kalmasına müdahale eden ve küresel sosyo-ekonomik sürdürülebilir kalkınmayı engelleyen farklı bir çevresel ve sosyal sorun olarak ortaya çıkmaktadır (Han ve diğ., 2016).

İnsanoğlunun üzerinde yaşamış olduğu toprak tabakasının sadece 50 cm'lik kısmının oluşumu için bile yaklaşık 20-25 bin yıl kadar bir zamanın geçmesi gerekmektedir (Hanedar, 2005). Toprak tabakasının bu kadar yavaş oluşmasına karşın özellikle üzerinde akan akarsular tarafından erozyona uğrayarak yok olması ise çok kısa bir sürede gerçekleşmektedir. Toprak erozyonunu tetikleyen bir diğer konu ise özellikle son yıllarda dünya nüfusunun hızla artması ve gıda arzı için toprakların bilinçsizce kullanılması başta gelmektedir. Örneklerle güçlendirildiğinde, Akdeniz ülkelerinde (İtalya, Yunanistan, Türkiye, Afrika'nın kuzeyi vb.) ormanlık alanların tahrip olması geçmiş dönemlerde yaşamış imparatorluklardan günümüze kadar gelen bilinçsiz toprak kullanımı ile açıklanabilir (Hanedar, 2005).

Türkiye'nin, gerek arazinin batıdan-doğuya doğru ortalama yükseltisinin artması ve genel olarak yüksek bir ülke olması, gerekse de engebeli bir yapıya sahip olması ülke sınırları içindeki toprakların yağışlar tarafından devamlı olarak erozyona uğramasına sebebiyet vermektedir. Ayrıca antropojenik faaliyetler ile arazi kullanımında meydana gelen yanlış kullanımlardan dolayı hızlandırılmış erozyon miktarı da giderek artmaktadır (Berberoğlu ve diğ., 2020). Yanlış arazi kullanımının yanı sıra son yıllarda etkisi daha fazla hissedilmeye başlanılan küresel iklim değişikliği sonucu yağış dinamiklerinde meydana gelen değişimlerde toprak erozyonu üzerinde etki göstermektedir. Genel itibari ile bu etki, yağışların erozif potansiyelinde değişiklikler göstererek dünya üzerinde

bölgeden bölgeye erozyona uğrayan toprak miktarında farklılıklara sebep olacak ve insanoglunun karşısına problem olarak çıkacaktır (Kılıç ve Günal, 2021).

Bu çalışma ile birlikte Kızılırmak havzasında meydana gelen toprak erozyonunun boyutları farklı açılardan değerlendirilmiş ve erozyona neden olan faktörlerin etkisini azaltmaya yönelik yapılan çalışmalar sıralanmıştır. Dönemler arasında toprak erozyonunun şiddetindeki salınımları görebilmek için Chelsa küresel iklim modeli kullanılmış ve farklı dönemlere ait R değerleri hesaplanarak erozyonun boyutu hakkında çıkarım da bulunulmuştur. Ayrıca çalışma sahasında geçmiş ve gelecek arasında meydana gelebilecek değişimler hakkında yorum yapılmıştır.

Bir havzanın sürdürülebilir kullanımı için önemli çevresel etkileri olan toprak erozyonunun boyutlarının geleceğe yönelik olarak belirlenmesi ve buna yönelik yönetim kararlarının alınması önem arz etmektedir. Bu çalışmada amaca yönelik olarak sırasıyla aşağıdaki yollar izlenerek Kızılırmak Havzası'nda erozyon durumunun güncel ve gelecek durumları ortaya koyulmuştur.

1. Kızılırmak Havzası'nın toprak erozyon tahmininde kullanılacak RUSLE modelinin çalışabilmesi için öncelikle tüm faktörlere ait hesaplamaların yapılması,
2. RUSLE modeli ile havzanın güncel toprak erozyonun tahmin edilmesi,
3. CHELSA küresel iklim modeli kullanılarak Kızılırmak Havzası'nın güncel ve 2050-2070 yılları için toprak erozyonunun hesaplanmasında kullanılacak R faktör değerlerinin hazırlanması,
4. Kızılırmak havzası için hazırlanan gelecek yağış projeksiyonları ve güncel RUSLE verileri kullanılarak 2050-2070 yılları için toprak kayıplarının tahmin edilmesi,
5. Havzanın geleceğe yönelik (2050-2070) toprak erozyonunda meydana gelen çevresel etkilerin izlenmesi, doğal ve beşeri ortamın etkileşimini anlamak ve yönetim planlarının hazırlanması şeklinde bir yol izlenecektir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1.TOPRAK EROZYONU VE ÖNEMİ

Erozyon genel olarak toprak kümelerinin parçalanması, dış etmenler tarafından taşınması ve sonuç olarak buldukları yerlerden farklı alanlarda birikmesi olarak ifade edilir (Balcı, 1996). Toprak erozyonu, toprak gruplarının bireysel veya küçük partiküller halinde parçalanarak bunların su veya rüzgâr ile taşınmasını ifade eden aşamalı bir durumdur. Erozyon asıl olarak aşınma-taşınma ve taşınan malzemenin birikmesi şeklinde aşamalar halinde meydana gelir.

Normal Erozyon: Yeryüzünde bulunan toprak kısmının su, rüzgâr gibi doğal kuvvetler ile taşınmasını ifade eder ve erozyon süreci dünyanın kuruluşundan bu yana sürekli olarak devam etmektedir. Normal erozyon, doğal hayat içerisinde bitki örtüsü altında çok yavaş cereyan eden bir olaydır (Balcı, 1996).

Hızlandırılmış Erozyon: Fiziki faktörlerden olan iklim, toprak, bitki örtüsünün aralarında var olan doğal dengenin insan faaliyetleri sonucunda bozulmasıyla normal erozyon hızının çok daha hızlı bir şekilde ilerlemesi durumuna hızlandırılmış erozyon adı verilir (Balcı, 1996).

Yapılan tahminler sonucunda tüm dünyanın toprak erozyonu sonucunda yaklaşık % 7-40'ının arazi örtüsü değişime uğramıştır ve bunun başlıca sebebi ise hızlandırılmış erozyon faaliyetlerinde etkin olan insan faktörüdür. Global ölçekte büyük kütleli akarsular, geçtikleri araziler üzerinde toprağın özellikle verimli sayılabilecek organik üst kısmını aşındırıp taşıyarak erozyona uğratmaktadır. Bu durum sonucunda geniş çaplı bir arazi örtü değişimi meydana gelmektedir. Büyük ölçekli nehirlerden Mississippi nehri, Amazon nehri, Ganj-İndus nehirleri, Fırat-Dicle nehirleri, Nil nehri geçtikleri araziler üzerinde büyük bozulmalara neden olmuşlardır (Dengiz ve İmamoğlu, 2016).

Birleşmiş Milletler Çevre Programı'nın yayınladığı oranlara göre toprak erozyonu sebebiyle her yıl dünyada yaklaşık 20 milyon ha arazinin verimliliği düşmektedir. Ülkemiz topraklarının %86 kadarı su erozyonuna maruz kalmış ve etkilenmiştir. Ülkemizde hızlandırılmış erozyona bakacak olursak özellikle bitki örtüsünün zayıf olduğu İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu bölgelerimizde ve eğim derecesinin fazla

olduğu alanlarda daha şiddetli olduğu görülür. Türkiye’de oransal olarak sorunsuz arazilerin yüzdesi %13,86 iken şiddetli ve çok şiddetli erozyonun görüldüğü araziler yüzdesi %58,7’dir (Balcı, 1996).

Özellikle su erozyonu konusunda gerek toprak yapısı gerekse de topoğrafik durumu, erozyona uğrama konusunda ülkeyi ilk sıralara taşımaktadır. Türkiye’nin Güneydoğu ve iç kesimlerinin etkin kuraklıktan ve cılız bitki formasyonuna sahip olmasından dolayı üzerinde akan Fırat, Dicle, Kızılırmak gibi nehirler tarafından sürekli olarak erozyona uğramaktadır. Doğu Anadolu ve Karadeniz topraklarının büyük kısmı ise topoğrafik (yükselti-eğim) durumlardan dolayı sürekli olarak erozyona uğramaktadır. Dünya üzerinde ve ülkemizde erozyona uğramış alanlar incelendiğinde büyük oranda arazi örtüsünün değişime uğradığı görülmektedir (Dengiz ve İmamoğlu, 2016).

Toprak erozyonunun sebepleri arasında; iklim, topoğrafik yapı(eğim-yükselti) faktörlerinin oluşturduğu doğal etmenler, toprak ve arazi yönetimi etmenleri ve sosyo-ekonomik etmenler sıralanmaktadır. Ülkemizde toprak erozyonu sonucu büyük oranda verimli toprak tabakası zarara uğramaktadır. Ülkemiz çapında yapılan araştırmalara göre yılda ortalama 600 ton alüvyon malzeme taşınmaktadır. En fazla taşınım ise Yeşilirmak havzasında gerçekleşmektedir. Bu sayısal veriler ışığında erozyonun ekolojik sonuçları daha büyüktür. Bunlar sırasıyla; 1-Toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik verimliliğini düşürür 2-Baraj ve gölleri doldurarak içme suyu miktarını azaltır aynı zamanda sudaki biyolojik çeşitliliği azaltarak ötrafikasyona sebep olur, 3-Tarım arazilerinin verimliliğini düşürür 4-Su kirliliği için potansiyel güç oluşturur, binlerce mikroskobik toprak canlılarını yok ederek ekolojik dengeyi bozar (Balcı, 1996).

Erozyonun önüne geçilebilmesi için, ortak kullanım alanlarında devletin katkısıyla planlanan toprağı koruma işlerinde çiftçinin katkısı ve sorumluluğunun olması sağlanmalıdır. Konular ile ilgili araştırma yapan üniversite ve bilim camiası desteklenmeli, araştırma sonuçları üreticiye iletilmelidir. Özellikle erozyon konusunda halkın bilinçlenmesinin sağlanması için kırsal kesimde büyük bir çoğunluğa erozyon ve önlenmesi konusunda bilgi verilmesi sağlanmalıdır (Balcı, 1996).

2.2.EROZYONA UĞRAYAN TOPRAKLARIN HESAPLANMASINDA KULLANILAN TAHMİN MODELLERİ

Toprak erozyonu, birçok alan için toprak bozulması tehdidi olarak karşımıza çıkmaktadır. Karasal alan, tatlı su, okyanuslar bu alanlara örnek olarak verilebilir. Su ve rüzgar kuvveti çalışmanın en temel noktası olan arazi üzerindeki su erozyonu ile ana itici etkindir. İnsan faaliyetleri sonucunda hızlandırılarak gerçekleşen gelecekteki toprak erozyonu miktarlarına ilişkin bilgilerin geliştirilmesi birçok açıdan önemlidir. Gelecekte oluşacak toprak kaybını tahmin edebilmemiz, hem arazi kullanımı için karar verme sürecinde, hem de küresel çaplı toprak erozyonu modelleyicileri için gereklidir (Borelli ve diğ., 2020).

Toprak erozyonunun önemini kavrayan ve bu anlamda ilk çalışmaların yapıldığı ABD’de ilk olarak toprak kaybı ölçmeleri çalışmaları yapılmıştır. Yağışların etkili olduğu toprak kayıplarının tahmini amacıyla ampirik modellerin geliştirilmesi yaklaşık yarım asır kadar bir süreyi kapsamaktadır. Ampirik modellerin geliştirilme çabası Cook, Zingg, ve Smith tarafından yürütülen çeşitli çalışmalara dayanmaktadır.

Zingg Denklemi

$$TK=C*S^m*L^n$$

TK: Toplam toprak kaybı, ton/acre

C: Toprak özelliklerine göre değişen bir katsayı

S: Arazi meyli, %

L: Arazi eğim uzunluğu, feet

Bu çalışma ile eğim uzunluğu, eğim derecesi, yüzey örtüsünün etkisi ve erozyona karşı önlem faktörlerinin toprak kayıplarına etkisini ortaya koyma şeklinde olmuştur (Özden ve Özden, 1997)

Smith tarafından modifiye olan Zingg Denklemi

$$TK=C*S^{1.4}L^{0.6}$$

Bu denklemden sonra Browning ve arkadaşları ise Iowa topraklarında uygulanan ayrı bir tahmin modeli geliştirmişlerdir.

Browning Denklemi

$$TK=(K*S*L*R*F*E*C*P)^{2.5}$$

TK: Yıllık toprak kaybı, ton/da/yıl

K: Toprak faktörü

S: Meyil derecesi

L: Meyil uzunluğu

R: Bitki rotasyonu

F: Verimlilik

E: Erozyona uğrama derecesi

C: Muhafaza önlemleri

P: Yağış faktörü

Her oluşturulan toprak kaybı tahmin modeli, bir önceki modellerin eksikliklerini tamamlayarak ilerlemektedir. Brownin denkleminin geliştirilmesi ve yani yağış faktörünün eklenmesiyle Musgrave denklemi geliştirilmiştir (Özden ve Özden, 1997).

Musgrave Denklemi

$$E=F*C*P*K$$

E: Yüze erozyonu, m³/da/yıl

F: Toprak erodibilite faktörü, mm/yıl

C: Bitki örtüsü faktörü, %

P: Yağış faktörü

K: Eğim derece ve uzunluğu faktörü

Universal Toprak Kaybı Denklemi (USLE)

Toprak erozyonu ile ilgili tahmin teknolojisi yaklaşık 70 yıl kadar zaman önce Austin zinnig'in toprak erozyonu konusunda, toprak erozyonu ile arazinin eğimi ve uzunluğu arasında var olan ilişki ile açıklamıştır. Daha sonra Dwight Smith tarafından bu denklemi geliştirecek şekilde birtakım çalışmalar yapılmıştır. Bakıldığında bu çalışmaların geliştirilmesi tam olarak geçen yüzyılda toprak erozyonu tahmini konusunda geliştirilen en başarılı model olan Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (USLE) modelinden yaklaşık 20 yıl kadar önceydi. USLE modeli uygulamada ve kullanışlılıkta karmaşıklığı

arttırmış ve erozyon tahmininde belli sınırlamaları beraberinde getirmiştir. Bu sebeplerle toprak erozyon tahmini alanındaki teknolojinin ve bilimin gelişmesini zorunlu kılmıştır. USLE modelinin ardından bu modelin eksikliklerini giderebilecek Su Erozyonu Tahmin Modeli (WEPP) geliştirilmiştir. Bu modeller devamlı olarak birbirinin eksikliğini tamamlayarak yeni modellerin geliştirilmesi şeklinde devam etmiştir (Lafren ve Flanagan, 2013).

Erozyon sonucu kaybedilen toprakların tahmin edilmesinde en fazla kullanılan matematiksel modellerden biri olmuştur. Bu model adeta erozyon tahmin teknolojisinde çığır açmıştır. USLE'nin içinde geçen universal terimi ile bu tahmin modelinin bundan önceki var olan bölgesel esaslı modellerden ayrıldığı evrensel bir model olduğunu göstermektedir.

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

A: Bir tarım arazisinden oluşması muhtemel toprak kaybı (t/ha/yıl)

R: yağış erozyon indisi(metrik ton-m/ha)

K: Toprakların erozyona duyarlılık faktörü

L: Eğim uzunluğu faktörü

S: Eğim derecesi faktörü

C: Bitki amenanjmanı faktörü

P: Toprak koruma önlemleri faktörü

USLE modeli denklem olarak basit anlaşılır ve kolay uygulanabilir olmasıyla hem kullanışlı hem de ekonomik bir model olarak karşımıza çıkmaktadır. Toprak erozyonlarının tahmin edilmesi amacıyla birçok model geliştirilmiş ve su erozyonu tahmin teknolojisini geliştirmek için Su Erozyon Tahmin Projesi (WEPP) olarak ulusal bir proje başlatıldı. USLE modelinin, teknoloji sağlanarak desteklenmesi ile Revize Edilmiş Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (RUSLE) geliştirilmiştir (Lane ve diğ., 1992).

Ülkemizde de USLE modeli ile yapılan bazı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar sıralandığında, (Başayığıt, 2022), Lansat 7ETM+ uydu verisi kullanılarak Eğirdir Gölü Havzası'nın erozyon risk durumunu belirlemek amacıyla USLE modeli uygulanmıştır. Çalışma sonucunda haritalar üretilmiş ve erozyon açısından riskli alanlar için yapılacak toprak koruma önlemlerine yönelik tavsiyelerde bulunulmuştur.

(Yılmaz, 2006), tarafından yapılan çalışmada, Ankara Çamlıdere baraj havzasında meydana gelen toprak kaybını belirlemek amaçlanmıştır. Sonuç olarak, havzada yıllık 7 t.ha⁻¹ toprak kaybı yaşanmış ve bu duruma sebep olan etkenin topoğrafik şartlar ve bitki örtüsü olduğu ortaya koyulmuştur. (Karaş ve diğ., 2009), Sakarya ili sınırları içinde Porsuk Çayına ait olan Sarısu Havzası'nda meydana gelen toprak kayıplarını belirlemek amacıyla uzaktan algılama ve CBS ile birlikte USLE modeli kullanılmıştır. Çalışmada, yıllık toprak kayıp miktarı 1.90 t.ha⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

Dünya genelinde de USLE modeliyle ilgili çalışmalar bulunmaktadır. (Lee, 2003), Kore'ye bağlı Boun bölgesinde meydana gelen yıllık toprak kaybını ve risk durumunu ortaya koymak amacıyla, uzaktan algılama ve CBS sistemleri kullanılarak USLE modeli uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ise yıllık toprak kayıplarının 0.30 t.ha⁻¹ ile 4.0 t.ha⁻¹ aralığında olduğu tespit edilmiştir. (Darcy ve diğ., 1998), Amerika Missisipi Nehri Havzasında bulunan Goodwin ve Hickahale havzasında yıllık toprak kaybı miktarını ve risk durumlarını belirtmek amaçlı USLE modeliyle bir çalışma yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda ise Goodwin havzasında 11 t.ha⁻¹ ve Hickahale havzasında ise 13 t.ha⁻¹ yıllık toprak kaybı değerine ulaşılmıştır.

Revize Edilmiş Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (RUSLE)

USLE denklemi ile oluşturulan erozyona uğramış toprakların hesaplanmasında eksik kalan tarafların gözden geçirilerek tekrar düzenlenmesiyle RUSLE modeli geliştirilmiştir. Özellikle USLE modelinde bulunan R, K, L, S ve C faktörlerinde çeşitli düzenlemeler yapılmıştır. Erozyona uğramış olan toprakları tahmin etmek için bu modellerin dışında ise günümüzde bilgisayar teknolojisiyle uyumlu halde başka birçok model de geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları şunlardır; EPIC, PI, CREAMS, SOLOSS, PERFECT, WEPP, SWRRB, AGNPS, EUROSEM (Özden ve Özden, 1997).

Küresel tahminler olarak Revize Edilmiş Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (RUSLE) tabanlı bir modelleme ile gerçekleştirilir. Bu modele göre mevcut uygulanan koruma tarımı ile erozyonu belirli oranda azaltacağı düşünülerek, gelecekte oluşabilecek toprak erozyonu tahmin edilmektedir. Gelecek senaryolara göre arazilerin kullanımını etkileyen sosyal-ekonomik gelişmelerin su erozyonunu azaltacağı veya artıracığına ilişkin yorumları göstermektedir (Borrelli ve diğ., 2020).

(Üstün, 2011) Yaptığı çalışma kapsamında yer alan Işıklar Dağ'ı çevresinin toprak erozyonu açısından değerlendirilmesiyle meydana gelen toprak kayıplarının tespiti hedeflenmiştir. Bu tespiti yapabilmek için toprak erozyonunun hesaplanmasında CBS ile modelleme yolu kullanılmıştır. Bu modelle elde edilen sonuca göre, birtakım yanlış arazi kullanımı, yanlış yerleşme ve kontrolsüz yapılan tarım hayvancılık faaliyetleri, endüstriyel tesislerin yapılması, ormanların farklı amaçlar için kullanılarak tahribi, erozyon sonucu kaybedilen toprak miktarını ciddi ölçüde arttırmaktadır. Bu çalışmada, dünyada meydana gelen toprak kaybı ile yurdumuzda meydana gelen toprak kaybı karşılaştırılmıştır. Çalışmanın diğer bir aşamasında ise erozyon modellemesi konusunda günümüze kadar yapılan çalışmalar incelenmiş ve daha sonra çalışmada kullanılacak 'Morgan' yöntemi açıklanmıştır. Son olarak bu çalışmadan faydalanılması için arazilerin güncel durumları hakkında veri elde etmek amacıyla uydu görüntülerinden faydalanılmıştır (Üstün, 2001).

RUSLE modeli ile ilgili olarak hem ülkemizde hem de Dünya'da örnek çalışmalar bulunmaktadır. (Yıldırım ve Erkal, 2009), Çalışma kapsamında Afyon Ovası'nın batı kesiminde meydana gelen toprak erozyon durumunu ortaya koymak amaçlanmıştır. Bu kapsamda UA ve CBS uygulamaları yardımıyla RUSLE modeli uygulanmış ve yıllık 15 t.ha-1 toprağın ortadan kaybolduğu tespit edilmiştir. (Wang ve diğ., 2001) Texas bölgesinin güneyinde bulunan arazilerin toprak risk durumu ve toprak kaybını hesaplamak için RUSLE modeli uygulanmıştır. Arazinin K faktörüne göre duyarlılık durumu tespit edilmeye çalışılmıştır.

2.3.CHELSEA KÜRESEL İKLİM TAHMİN MODELİ

Fiziki faktörlerden birisi olan iklim, insan faaliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Bundan dolayı iklimin gelecek yıllarda nasıl bir değişim içine gireceği geçmiş çağlardan beri önemli bir konu olmuştur. İnsanoğlu bilimsel yöntem hakkında hiçbir fikrinin olmadığı ilk çağlardan bu zamana kadar karşılaştığı problemlerle başa çıkma, tabiata hâkim olabilme ve bulunduğu ortamda daha rahat ve güvenli yaşama isteği, bir model geliştirme ihtiyacı hissettirmiştir. Özellikle 20.yüzyıl içerisinde bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte iklim çalışmalarında da modelleme kavramı kullanılmaya başlanmıştır. İklim bileşenleri arasındaki ilişkiyi ölçülebilir ve gözlenebilir metotlarla göstermeye çalışan model iklim modellemesidir. Birçok zorluğa ve uygulamadaki

karmaşıklığa rağmen, gelecek yıllar için iklimin tahmin edilmesinde en önemli araç iklimin modellenmesidir (Önol ve diğ. 2011). Modellemeler ile mevcut durumlar dikkate alınır, birtakım hesaplamalar yapılır ve gelecekteki iklim şartlarının genel çerçevesi çizilmeye çalışılır. Bütün iklim modelleri temel olarak; kısa dalga radyasyon vasıtasıyla güneşten gelen enerji ve uzun dalga radyasyonla atmosfere tekrar dönen enerjinin hesaba katılması şeklinde kurgulanır. Bu oluşan dengedeki en ufak değişiklik sıcaklıklarda değişime yol açmaktadır (Önol ve diğ., 2011).

Bu iklim modellerinden birisi olan CHELSA küresel iklim modeli, Dünya'nın kara yüzey alanları açısından önemli bir veri depo alanıdır. Genel olarak ilk ortaya çıkan küresel iklim modellerindeki en büyük problem düşük çözünürlüklü (150-200 km) olması ve bölgesel özellikleri içermesidir. Fakat CHELSA iklim veri tabanı çok yüksek çözünürlüğe (30 ark saniye 1 km) sahip olmasıdır (Aydın, 2022). Bu iklim modeli Hükümetler Arası İklim Değişim Paneli Beşinci raporunda dört ayrı sera gazı emisyonuna dayalı olarak temsili kontrasyon yolları olan (RCP) senaryolarına ayrılmıştır. Bu senaryolar sırasıyla RCP2,6 - RCP4,5 – RCP6 – RCP8,5 olarak sınıflandırılmıştır. Bu senaryolara göre 2100 yılına kadar Dünya sıcaklığının 0,3 ile 4,8 °C arasında artmasını tahmin etmektedir (Kılıç, 2022).

CHELSA küresel iklim senaryolarının belirlenmesinde ışınımsal zorlamalar etkili olmaktadır. Nitekim RCP 4,5 senaryosuna göre sera gazı emisyonların önleyici sebeplerden ve gelişen teknolojiye dolaylı ışınımsal zorlama seviyesinin 21. Yüzyıl sonlarına doğru 4,5 W/m³ seviyelerinde sabit tutulması planlanmaktadır. Fakat RCP 8,5 senaryosuna göre 21. Yüzyılın sonlarına doğru ışınımsal zorlama seviyesinin 8,5 W/m³ değerlerine yükseleceği tahmin edilmekte ve bu sebepten sıcaklıkların normalin üzerinde yükseleceği ön görülmektedir. Bu sebeple ülke genelinde yağış değerlerinde muhtemel bir düşüş yaşanacağı düşünülmektedir (Kılıç, 2022).

Benzer çalışmalara bakıldığında daha çok herhangi bir havzanın veya alanın küresel iklim modelleri kullanılarak geleceğe yönelik erozyon senaryoları ve tahminleri yapılmıştır. Buna örnek olarak Süha Berberoğlu'na ait bir çalışma ise küresel iklim modelleri kullanılarak yapılan erozyon tahminidir. Aynı şekilde yalnızca arazi örtüsü değişim projeksiyonlarıyla da yapılmış erozyon tahmin çalışmaları vardır. Fakat, herhangi bir havzanın geleceğe yönelik erozyona uğrayacak kayıp toprak miktarının hem

küresel iklim modeli hem de arazi örtüsü değişim projeksiyonuna göre yapılmış bir çalışmanın bu alanda olmaması, literatürde büyük bir eksiklik olarak görülmektedir. Ayrıca herhangi bir havzanın iki yönlü araştırılıp ve sonuçlarının birleştirilip tek yönlü tahmin sonucunda bulunulması geleceğe yönelik oluşturulacak senaryoların güvenilirliğini artırmış olacaktır (Berberoğlu, 2020).

2.4.İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE EROZYON

Dünya üzerinde iklim değişimlerinin en temel sebeplerinden biriside küresel ısınmadır. Küresel ısınma, özellikle sanayi devriminden sonra fabrikalarda fosil yakıtların kullanımı, şehirleşme, tarımsal etkinlikler ve sanayi faaliyetleri gibi sebeplerle atmosfere salınan sera gazındaki artış hızının kuvvetlenmesi sonucu atmosferin alt katlarındaki sıcaklık artışı olarak ifade edilir (Türkeş, 2008).

İklim modelleri, farklı sera gazı salımı ve iklim değişikliği senaryolarını dikkate alarak oluşturulmuş ve artan yağışın şiddetini, kuvvetini, rüzgar hızının artışını, özellikle şiddetli kuraklık olaylarını dikkate aldığımızda toprak erozyonunun hangi faktörlere bağlı olarak arttığını görmekteyiz. Bölgesel yağış rejiminin değişiklik göstermesi, iklim değişikliği ile bağlantılı olarak toprak erozyonunu doğrudan etkilemektedir. Ani olarak görülen yağışların olduğu bölgelerde erozyon miktarı artmakla birlikte bu oran, beşeri faktörler etkisiyle oluşturulan ormansızlaştırılma faaliyetleriyle erozyonun şiddetini arttıracaktır. İklim değişikliği günümüzde, dünyanın birçok yerinde doğal afetleri beraberinde getirmektedir. Türkiye olarak, iklim değişikliğine uyum sağlamak ve küresel iklim değişimiyle mücadele etmek amacıyla acil harekete geçmez ve ormanlarımızı yok etmeye devam edersek birçok felaketi yurdumuzda da yaşamamız olası bir durumdur (Anonim, 2013).

(Berberoğlu ve diğ., 2014) İklim değişikliği ve erozyona etkisi konulu bir çalışmada, iklim değişimi ile meydana gelebilecek ekosistem değişimi ve ekosistemin işlevleri arasındaki işleyiş mekanizmalarını anlamak, bunun sonucunda birtakım çevresel riskleri ülke çapında değerlendirmeyi hedeflemişlerdir. Bunu yaparken konumsal bilgi teknolojilerini, yer verileri ile birlikte kullanmak esas alınmıştır. Erozyon ve net birincil üretim miktarlarındaki oluşabilecek zamana ve konuma bağlı olarak meydana gelen değişkenlerin tahmini, ulusal ölçekte erozyon ve bir karasal ekosistem modeli olan orman

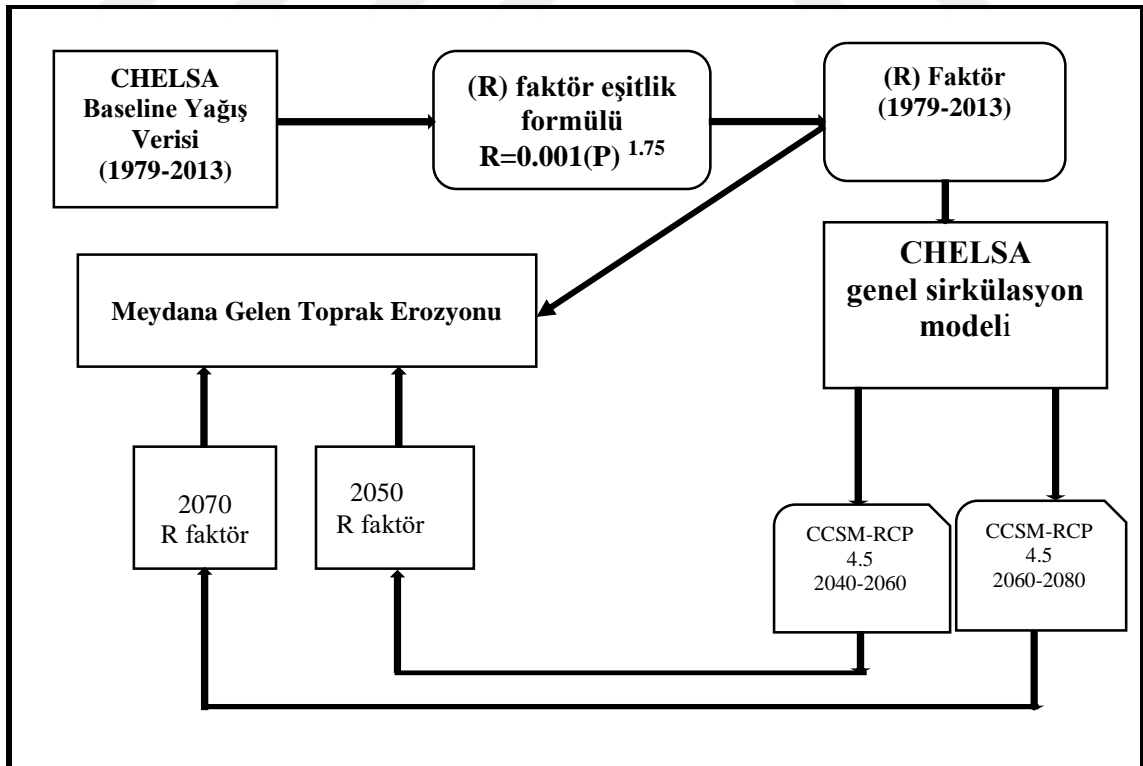
gelişimini simule etmek amacıyla geliştirilmiştir. Belirtilen çevre ile ilgili değişkenler konumsal bilgi teknolojileri yardımıyla güncel olarak geleceğe yönelik modellenmiştir. Sonuç olarak, yurdumuz geneline bakıldığında konumsal ve mevsimsel anlamda ayrıntılı bir şekilde değerlendirilerek havzalar bazında riskli bölgeler oluşturulmuştur (Berberoğlu ve diğ., 2014).

Özellikle son yıllarda toprak erozyonunun büyük bir kısmı nüfusun artmasına paralel olarak üretime talebin hızla arttığı kurak ve nemli ülkelerde görülmektedir. İnsanların müdahalesiyle yeşil alanların ve ormanların yok edilmesi ile hızlandırılmış erozyon sonucunda toprak erozyonunun şiddetinde ciddi artışlar yaşanmaktadır (Hanedar, 2005).

3. MATERYAL VE METOT

Kızılırmak havzasının toprak kayıplarının gelecekte ne aşamada olacağını tespit etmek ve günümüzle kıyaslamak amacıyla güncel ve gelecek dönem toprak kayıpları RUSLE modeli kullanılarak hesaplanmıştır. RUSLE modeli Wischmeier ve Smith (1978) tarafından hazırlanan USLE yönteminin 1985 de revize edilmiş halidir. Yapılan son çalışmalar modelin CBS teknolojisine uyarlanarak sağlıklı erozyon risk haritaları üretilebileceğini göstermiştir. Bu modelde eşitlik 1’de verilen altı mekânsal faktör birbiri ile çarpılarak alanın toprak kayıpları tahmin edilebilmektedir. Modeldeki A ortalama toprak kaybını (ton/ha/yıl), R erozyona neden olan yağış miktarını ve ayrıca, L eğim uzunluğu faktörünü, S eğim dikliği faktörünü, C arazi örtüsü ve idari uygulama faktörünü son olarak P ise koruma desteği uygulama faktörünü ifade etmektedir. Buradaki L, S, C ve P faktörleri birimsizdir. Chelsa küresel iklim modeli kullanılarak yapılan toprak erozyon tahmininde R faktör değerlerinin bulunması için izlenen yol Şekil 1’de gösterilmiştir.

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



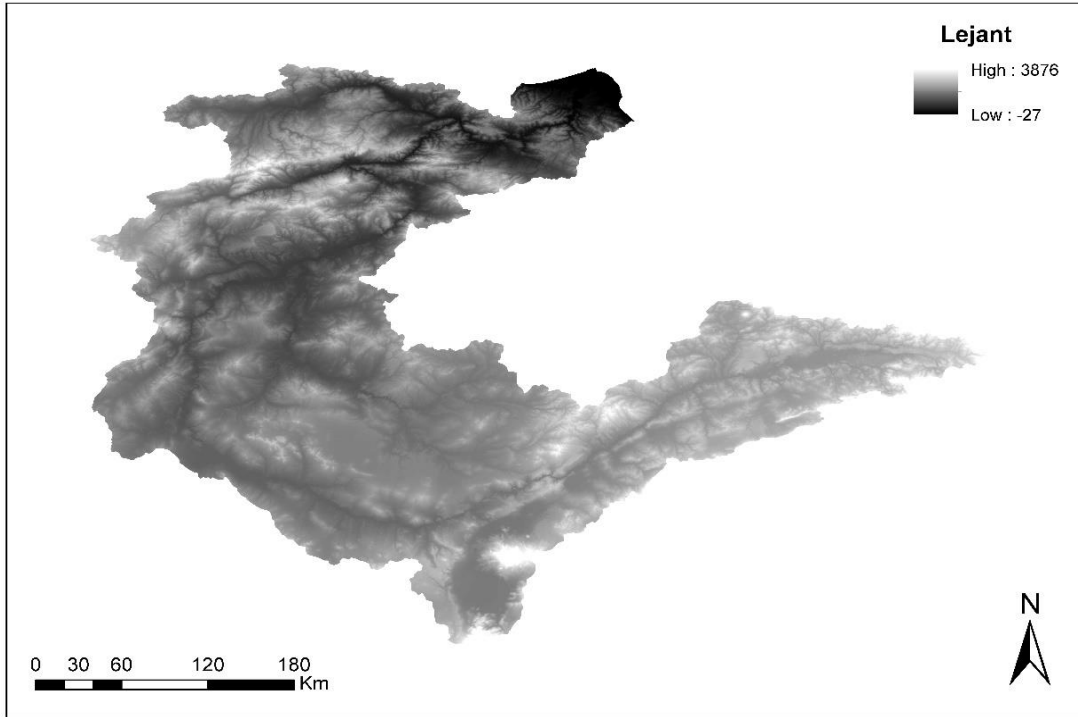
Şekil 1. R Faktör Akış Şeması

Chelsa küresel iklim modelinin kullanılmasının sebebi geçmişteki iklim verileri ile mevcut veriler kıyaslanarak gelecek dönemler hakkında çıkarım yapılmasına olanak sağlamasıdır. İklim senaryosunun seçiminde, iklimik verilere odaklanıldığından dolayı, çalışma yağış ve sıcaklık düzenini temsil eden değişkenlerle sınırlandırılmıştır. Bu araştırmada yüksek çözünürlüklü küresel iklim senaryoları CHELSA veri tabanından elde edilmiştir. Düzeltmeler bulunan 1 km çözünürlükteki küresel iklim modelleri veri tabanından CCSM (Community Climate System Models) modelinin RCP (Representative Concentration Pathway) 4,5 senaryolarının 2050 ve 2070 yıllarına ait yağış haritaları <https://chelsa-climate.org> internet adresinden indirilmiştir. CBS ortamında havza sınırları haritasıyla çalışma alanına ait küresel iklim değişikliği haritaları oluşturulmuştur.

Bu modelin kullanılma sebebi, geçmiş tahmin doğruluğuna ve konsantrasyon yollarında öngörülen verilerin mevcudiyetine dayanmaktadır. RCP 2.6, 4.5, 6.0 ve 8.0 senaryoları atmosfer tarafından absorbe edilen güneş ışığı ile uzaya geri yayılan enerji miktarının farkıyla ortaya çıkan dört sera gazının konsantrasyon aralığını temsil eder (William B Sutton, 2014). Her senaryo kendi içinde farklı bir sera gazı emisyon aralığını temsil etmektedir. Atmosferde artan sera gazı emisyonlarına ilişkin perspektif geliştirmek amacıyla RCP 4.5 senaryosu ve CCSM modeli kullanılmıştır. Bu senaryo sera gazlarındaki uzun süreli veya hızlı artış yerine kademeli olarak artışı öngörmektedir (William B Sutton, 2014).

CCSM, genel olarak Dünya'nın iklim sisteminin simülasyonunu ortaya koyan bir modeldir. Dünya'da karasal alanları, okyanusları, deniz buzları ve atmosferi eş zamanlı olarak simüle eden bu model dünyanın geçmiş ve mevcut iklim durumu hakkında bilgi vermektedir. Ayrıca geçmiş veriler ile mevcut veriler arasındaki değişimi referans alarak gelecek dönemler için iklim tahminlerini içeren veriler üretmektedir (CESM, 2019).

Chelsa küresel iklim tahmin modeli ile R faktörleri elde edildikten sonra, RUSLE modeli tüm faktörlerin çarpımı olarak sonuç verecek şekilde Arc-GIS platformunda çalıştırılmıştır. Modeldeki faktörler uzun yıllar aylık yağış verileri, toprak veri tabanı, sayısal yükselti modeli (SYM) (Şekil 2) ve arazi kullanım haritalarından faydalanılarak R, K, LS, C ve P faktörlerinin hesaplanmasını içermektedir.



Şekil 2. Kızılırmak Havzası SYM (Sayısal Yükselti Modeli) Haritası

3.1.YENİLENMİŞ EVRENSSEL TOPRAK KAYBI DENKLEMİNİN AŞAMALARI

3.1.1.Erozyona Neden Olan Eroziyon Yağış Miktarı (R)

R faktörü yağışın çarpma etkisini ölçer ayrıca yağış olaylarına eşlik eden olası yüzey akışın miktarını ve oranını yansıtır. Bu faktörün hesaplanmasında yağış yoğunluklarına gereksinim duyulmaktadır. Fakat ülkemizde meteoroloji istasyonların yeterli yağış yoğunlukları her istasyonda kayıt edilemediğinden hesaplamada Chelsa küresel iklim veri tabanından öncelikle (1979-2013) yıllarını kapsayan 34 yıllık ortalama yağış değerini kapsayan yıllık ortalama yağış haritası elde edilmiştir. Daha sonra 2050 ve 2070 yıllarını kapsayan dönem için de aynı yöntem kullanılarak yağış projeksiyonları elde edilmiştir.

Bu haritalar Chelsa veri tabanının RCP- 4.5 senaryosu ve CCSM modelinden indirilmiştir. Çünkü bu versiyonda havza için iklim verilerini en doğru sonuca yakın alabilmemiz için gerekli olan atmosferdeki karbon emisyon miktarının var olmasıdır. Elde edilen yağış haritaları, eşitlik 2'deki formül (Yılman FE, 2006) kullanılarak

hesaplamalar yapılmış ve (R) faktör değerleri elde edilmiştir. Bu şekilde yapılan hesaplama ile güncel dönem, 2050 ve 2070 yıllarını kapsayan dönemler için üç ayrı (R) faktör değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan R faktör güncel dönem toprak erozyonunun tahmininde ve 2050-2070 dönemlerinde oluşabilecek toprak erozyonu ile ilgili projeksiyon haritaları üretilmiştir.

$$R=0.001(P)^{1.75} \quad (2)$$

R: Eroziyon yağış faktörü

P: Yıllık ortalama düşen yağış miktarı (mm).

Elde edilen sonuçlar R faktör verilerine göre oluşturulduğundan dolayı R faktör değerleri sabit bir değişken değildir. Fakat bu çalışmada bu değerler yıllık ortalama yağış verileri üzerinden hesaplanmıştır. Yani yıl içerisinde belirli aralıklarla meydana gelen şiddetli yağış, sel, sevelan ve heyelan gibi faktörler göz ardı edilmiştir. Bu sebeple erozyona uğrayan toprak miktarı gelecek dönemlerde arazinin örtü durumunun değişimi, koruma faktörleri veya yağış dinamiklerindeki değişimlere göre farklı sonuçlar oluşturabilecektir.

3.1.2. Toprak Direnç Faktörü (K)

Toprak erozyon faktör değeri standart bir parsel üzerinde ölçülen ve çoğunlukla doğal toprak özellikleri kullanılarak belirlenen, her bir yağış erozyon indeksi birimindeki toprak kaybı oranıdır (Parysow ve diğ., 2003). Bu faktör toprağın erozyon üzerindeki direncini ifade etmektedir. Yani oluşturulan toprak sınıflarının özelliklerine göre ayrışmaya ve taşınmaya karşı direnç kuvvetini ifade eder. K faktör belirlenirken bu sayılan özellikler üzerinden incelemelerin yapılabilmesi, ancak çalışma alanı içerisindeki küçük bir alandan numune olarak ortaya koyulabilir. Fakat numunelerin alındığı alan, genel çalışma alanı hakkında fikir sahibi olmamızı sağlayamayacağından dolayı çalışmamızı elde edeceğimiz toprak verisi üzerinden ilerleyeceğiz. Toprağın, fiziksel ve kimyasal özellikleri ile tekstürü K faktörü üzerinde etkili olan bir diğer faktördür (Cebel H., 2013).

Bu araştırmada K faktör havzada bulunan toprak tiplerine göre literatür taraması yapılarak belirlenmiştir. FAO üzerinden dünya toprak haritası elde edilmiş ve CBS uygulamalarına işlenerek Kızılırmak havzasının toprak haritası oluşturulmuştur. Daha sonraki aşamada K faktörü değerini hesaplamamız amacıyla birtakım formüller kullanılmış ve sonuç ortaya çıkmıştır (Şekil 3). Belirlenen katsayılar toprak haritasının veri tablosuna yazılarak ve harita raster veri haline dönüştürülerek modellemeye kullanılmıştır.

$$K_Factor = f_{sand} \cdot f_{clay} \cdot f_{orgc} \cdot f_{silt} \cdot 0.1317$$

$$f_{sand} = (0.2 + 0.3 \cdot \exp[-0.256 \cdot m_{sand} \cdot (1 - \frac{m_{silt}}{100})])$$

$$f_{clay} = (\frac{m_{silt}}{m_{clay} + m_{silt}})^{0.2}$$

$$f_{orgc} = (1 - \frac{0.0256 \cdot OrgC}{OrgC + \exp[3.72 - 2.95 \cdot OrgC]})$$

$$f_{silt} = (1 - \frac{0.7(1 - \frac{m_{sand}}{100})}{(1 - \frac{m_{sand}}{100}) + \exp[-5.51 + 22.9 \cdot (1 - \frac{m_{sand}}{100})]})$$

Şekil 3. “K” Faktör Değerlerinin Hesaplanmasında Kullanılan Formül (Waver ve diğ., 2005).

3.1.3. Topografik Faktör (LS)

RUSLE (Revised Universal Soil Equation) modelinde, LS faktörü topografyanın erozyon üstündeki etkisini yansıtır, eğim uzunluğu faktörü (L) eğim uzunluğunun erozyon üstündeki etkisini temsil eder ve eğim dikliği faktörü (S) eğim derecesinin erozyona tesirini yansıtır (Lu ve diğ., 2004). Bu çalışmada, USGS veri tabanından indirilen yüksek alansal çözünürlüklü sayısal yükselti modeli (SYM) verisi kullanılmış, elde edilen bu veriler, CBS ortamında ve Arc-Map uygulaması üzerinden formüller kullanılarak LS (Eğim dikliği ve Eğim uzunluğu) faktörüne ait değerler ortaya çıkmıştır. Genel olarak RUSLE modelinde bulunan L ve S faktörleri farklı birtakım formüllerle hesaplanmaktadır (Şekil 4). Tüm bu süreçler kullanılarak ortaya çıkan bu parametrelerin raster haritası oluşturulmuştur.

$$F = \left(\frac{\sin(\text{Eğim} * 0.01745)}{0.0896} \right) / (3 * \text{Power}(\sin(\text{Eğim} * 0.01745), 0.8) + 0.56) \quad (1)$$

$$M = \text{faktör } F / (1 - \text{faktör } F) \quad (2)$$

$$L = \left(\text{Power}(\text{accum} + 625, (M + 1)) * \text{Power}(\text{accum}, (M + 1)) \right) / \left(\text{Power}(25, (M + 2)) * \text{Power}(22.13, M) \right) \quad (3)$$

$$S = \text{Con}(\tan(\text{Eğim} * 0.01745) < 0.09, (10.08 * \sin(\text{Eğim} * 0.01745) + 0.03), (16.8 * \sin(\text{Eğim} * 0.01745) - 0.5)) \quad (4)$$

$$LS = \text{Faktör } L * \text{Faktör } S \quad (5)$$

Şekil 4. L S Faktör Değerlerinin Hesaplanmasında Kullanılan Formüller (Özden, 1997)

3.1.4. Arazi Örtüsü ve İdari Uygulama Faktörü (C)

Bu yöntemde bitki örtüsü veya zemin örtüsü olarak isimlendirilen C faktör, yağış ve eğim değerleri kadar büyük bir öneme sahiptir. Toprak erozyonunun, kontrolün gerçekleştirildiği yüzeydeki örtü koşullarını yansıtması bakımından RUSLE modelindeki en önemli değişken olarak ifade edilmektedir (Toy T.J., 1999).

C faktörü, mevsime ve ürün yetiştirme sistemine göre değişiklik gösteren arazi işleme ve yönetim uygulamalarının tarım arazilerindeki toprak erozyon oranlarına etkisini ortaya koymak için kullanılır. Ayrıca ormanlık bölgelerde erozyonun etkisini düşüren vejetasyon kaplama alanı (canopy) ve zemin örtüsünün etkilerini yansıtmak için kullanılır. Çalışmada C faktör haritalarının hazırlanması için 2018 Yılı raster CORİNE verisi indirilerek kullanılmış ve seviye 3'e göre arazi sınıflandırması yapılmıştır. (Buttner ve diğ., 2004).

Farklı arazi kullanım tiplerinin C faktör değerleri tüm bu bilgilerin sentezi ile elde edilmiştir. Ortalama C faktör değerleri arazi kullanım haritasına nitelik olarak girilmiştir. Bu şekilde C faktör haritası CBS ortamında elde edilmiştir.

3.1.5.Koruma Desteği Uygulama Faktörü (P)

P faktörü özel bir destek uygulaması ile (erozyona tedbir alındığı durumdaki) toprak kaybına karşılık gelen eğim yukarı ve eğim aşağı toprak işleme ile erozyona tedbir alınmadığı durumdaki toprak kaybına oranıdır. P değeri düştükçe, daha etkili toprak koruma uygulamasının daha az toprak erozyonuna neden olduğu varsayılmaktadır. P değeri genel olarak 0 ve 1 arasında değişmektedir. Çalışmada bireysel harita birimleri için ortalama P değerleri arazi gözlemlerinden elde edilmiş olan koruma uygulamalarına ait bilgiler ve diğer kaynaklardan edinilen bilgiler birleştirilerek belirlenmiştir. Ancak değerlendirmeler yapılırken orman alanları, seyrek (bozulmuş) orman alanları ve meralara herhangi bir koruma desteği uygulaması olmadığı görülmüş ve 1 değeri verilmiştir.

3.2.KÜRESEL İKLİM SENARYOLARININ HAZIRLANMASI

Kızılırmak havzasında toprak kayıplarının iklim değişiminden nasıl etkileneceği ve gelecekte yağışların potansiyelinin ne yönde değişeceğini belirlemek için CHELSA tarafından hazırlanan küresel iklim değişimi veri tabanından faydalanılmıştır (Karger ve diğ., 2017). Veri tabanından CCSM4 küresel iklim modelinin RCP 4.5 senaryosuna göre Türkiye'nin yağış haritaları 2050 ve 2070 yılları için indirilmiş ve indirilen haritalar Kızılırmak Havza sınırlarına göre CBS ortamında işlenerek analizlere hazır hale getirilmiştir. Geliştirilen projeksiyon modeli kullanılarak 2050 ve 2070 yıllarının R faktörü hesaplanmıştır.

3.3.GELECEK DÖNEM (2050-2070) TOPRAK KAYIPLARININ HESAPLANMASI

RUSLE modeli ile gelecek yıllarda yaşanabilecek toprak kayıplarının tahmin edilmesinde, küresel iklim modeli olan Chelsa iklim değişimi veri tabanından elde edilen veriler CBS ortamından işlenerek uygun formüller ile R faktör haritaları belirlenmiştir. Burada öncelikle Güncel dönem R faktör haritası daha sonra ise 2050 ve 2070 yıllarını tasvir edecek şekilde R faktör projeksiyon haritaları ortaya çıkarılmıştır.

RUSLE modeli için gerekli çarpanlar ($A=R*K*LS*P*C$) sırasıyla önce hazırlanan güncel R faktör değeriyle çarpılarak Kızılırmak havzasındaki güncel toprak kaybı haritası oluşturulmuştur. Daha sonra 2050 ve 2070 dönemleri R faktör verisiyle çarpılarak bu dönemlere ait erozyona uğrayan toprak kayıp değerleri tahmin edilmiş ve bu değerlere ait haritalar oluşturulmuştur.

Güncel dönem toprak kayıpları ile gelecek dönem (2050-2070) toprak kayıpları arasındaki alansal değişimler CBS ortamında mekânsal istatistik hesaplama araçları kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre havza için alınması gereken kararlar tartışılmış ve yönetim planları ortaya koyulmaya çalışılmıştır.



4.ARAŞTIRMA SAHASININ GENEL ÖZELLİKLERİ

4.1.ÇALIŞMA SAHASININ TANITIMI

Kızılırmak Havzası 37° 58' - 41° 44' kuzey enlemleri ile 32° 48' - 38° 22' doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Ayrıca havza yıllık olarak 6,44 milyar m³ akış hacmi ile ülkemizin toplam su potansiyelinin % 3,5'ini oluşturmaktadır (Arslan ve diğ., 2016). Kaynak kısmı Sivas Kızıldağ olan ve İç Anadolu bölgesinden batıya doğru adeta bir yay çizen Kızılırmak nehrinin ağız kısmı Samsun'un Bafra deltasını oluşturarak Karadeniz'e dökülür (Fotoğraf 1).



Fotoğraf 1.Kızılırmak Nehrinin Doğduğu İlçeden Bir Görünüm (Sivas-İmranlı)

Türkiye'nin sınırları içerisindeki en uzun akarsu olma özelliğini taşır. Karadeniz, İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinin bazı bölümlerini içine alan Kızılırmak havzasının içerisinde bulunan iller sırasıyla; Sivas, Kayseri, Nevşehir, Kırşehir, Yozgat, Kırıkkale, Ankara, Çankırı, Kastamonu, Çorum, Tokat, Amasya, Erzincan, Konya, Niğde, Aksaray, Sinop ve Samsun'dur. Kızılırmak havzası bu illerin belirli bölümlerini veya tamamını içine almaktadır (Arslan ve diğ., 2016). Havza çalışma alanı şekil 5'de yer alan lokasyon haritasında gösterilmektedir.

4.1.2.Kızılırmak Havzasının İklimi

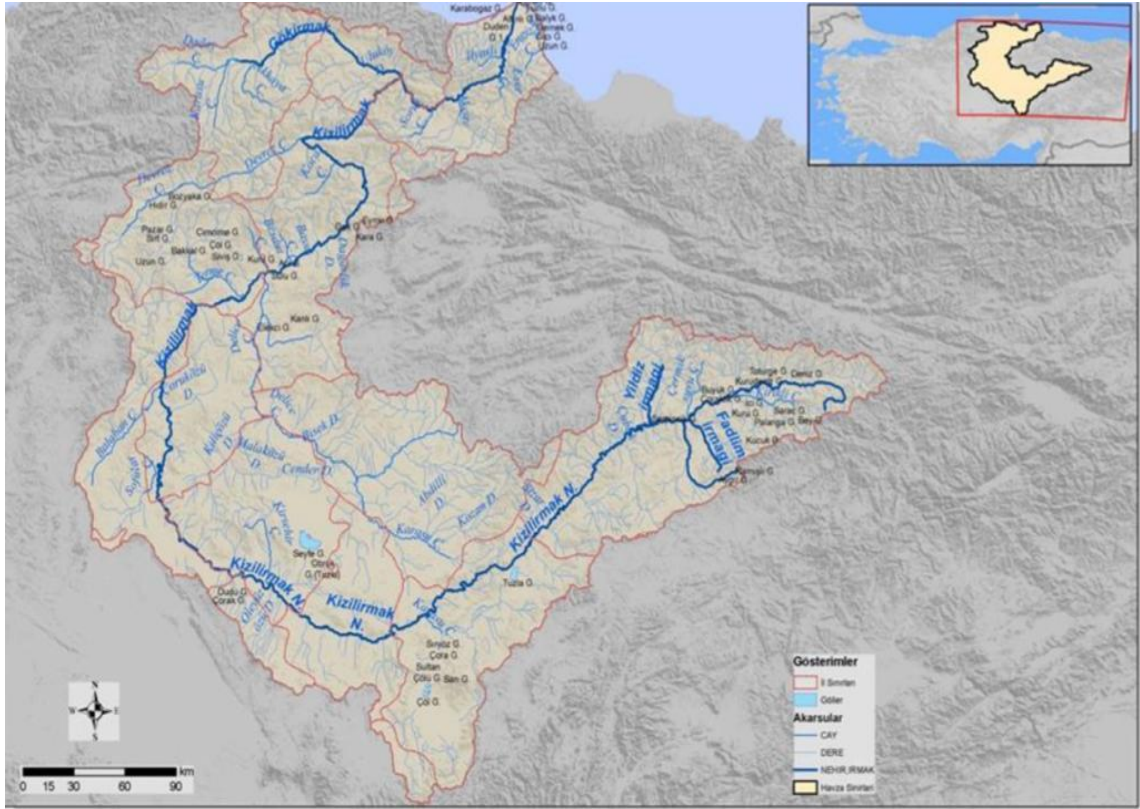
Kızılırmak havzasının konumu itibariyle birçok farklı iklim tipinin etkisi altında olduğu söylenebilir. Özellikle havzanın başlangıç noktası yani kaynak kısmının İç Anadolu'da kalan bölümünde yarı kurak iklim tipi hakim iken ağız kısmının bulunduğu Karadeniz'e dönük bölümünde ise daha nemli bir iklim tipi hakimdir.

Genel olarak Karadeniz kıyılarına bakan kuzey kısmı nemli, havzanın güneyi ise İç Anadolu bölgesine dönük olduğundan daha kurak iklim yapısının olduğu görülür. Kızılırmak havzasının içerisinde bulunan illerin iklim özelliklerine bakıldığında ise; Samsun ve Sinop illeri daha çok nemli ve ılıman iklim tipi özellik gösterirken, Çorum ve Tokat illerinde ise hem Karadeniz hem de İç Anadolu bölgesinin karasal iklim tipinin etkili olduğu geçiş iklim tipi etkilidir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019).

Özellikle havzanın İç Anadolu bölgesinde kalan; Kırıkkale, Ankara, Konya, Yozgat, Nevşehir, Kayseri, Kırşehir, Niğde ve Sivas illerinde kışların soğuk ve kar yağışlı, yazların ise sıcak ve kurak geçtiği karasal iklim tipi hakimdir. Havza genelindeki yağışların incelenmesi sonucunda meteoroloji istasyonlarından elde edilen yıllık toplam yağış değerlerinin ortalaması 435 mm/m^2 olarak hesaplanmıştır. Ortalama sıcaklık değeri ise 10.5 C° olarak hesaplanmıştır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019).

4.1.3.Kızılırmak Havzasında Bulunan Su Kaynakları

Türkiye sınırları içinde akan en uzun akarsu olan Kızılırmak nehri toplamda 1263 km uzunluğuna sahiptir. Kızılırmak nehri Sivas ili İmranlı ilçesi Kızıldağ'dan kaynağını oluşturarak Zara ve Sivas'tan geçer. Bu alandan sırasıyla Kırıkkale, Hüseyinli ve Osmancık üzerinden geçerek İç Anadolu'da genişçe bir yay çizmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Kızılırmak Havzasını Besleyen Su Kaynakları (Arslan ve diğ., 2016)

Kızılırmak nehri üzerinde kaynak kısmından ağız kısmına kadar birçok irili ufaklı dere ve ırmaklar yer almaktadır. Bu nehri besleyen başlıca dere ve çaylar ise Tablo 2’de yer almaktadır.

Tablo 2. Kızılırmak Havzası Dere ve Çayları (Anonim, 2019)

Sıra No	İsim	Tür
1	Kızılırmak	Nehir
2	Gökırmak	Nehir
3	Karasu Çayı	Nehir
4	Kanak Çayı	Nehir
5	Acı Çay	Nehir
6	Delice	Nehir
7	Devrez	Nehir
8	Mismil	Dere
9	Tecer	Dere
10	Acı su	Dere

Belirli doğrultularda akışa devam eden Kızılırmak nehri son olarak Samsun ili sınırlarına girerek orada Bafra deltasını oluşturur ve Karadeniz'e dökülür (Fotoğraf 2). Havzanın önemli akarsuları ise Devrez çayı, Gökırmak ve Delice ırmağıdır. Kızılırmak, ismini geçtiği bölgedeki kayaç ve toprak yapısının renginden almaktadır. Özellikle geçtiği arazi örtüsünü aşındırıp bünyesine kattığında dolaylı bulanık ve kırmızı renkte bir görünüm alınır. (Hakan Koç, 2018).

Nehir suyu kaynak kısmı olan İmranlı'da içilebilir ve daha yumuşak bir özellikte iken Zara ve Hafik sınırlarına girdiğinden buradaki jipsli ve tuzlu araziden gelen kollarla birleşir. Bu sebeple suyun bileşimi büyük oranda değişir, nehir suyu uzun bir hat boyunca tarımda sulama suyu olarak dahi kullanılamamaktadır. (Hakan Koç, 2018).



Fotoğraf 2. Kızılırmak Nehrinin Oluşturduğu Delta Ovası (Google Maps)

Kızılırmak nehri üzerinden faydalanma yollarından birisi de barajlar inşa etmektir. Her ne kadar hidroelektrik potansiyeli açısından Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgeleri kadar yüksek potansiyele sahip olmasa da nehrin kaynak kısmından ağız kısmına kadar geçtiği illerin birçoğunda baraj bulunmaktadır (Tablo 3).

Tablo 3. Kızılırmak Nehri Üzerinde Bulunan Barajlar (Enerji atlası, 2021)

Sıra No	Barajlar	Bulunduğu il	İşletme Seviyesi
1	Çermikler Barajı ve HES	Sivas, Şarkışla	1191 m
2	Yamula Barajı ve HES	Kayseri,	1100 m
3	Bayramhacılı Barajı ve HES	Nevşehir, Avanos	980 m
4	Sarıhıdır HES	Nevşehir, Ürgüp	938 m
5	Cemel HES	Nevşehir, Avanos	922 m
6	Tuzköy HES	Nevşehir, Gülşehir	875 m
7	Hirfanlı Barajı ve HES	Kırşehir	851 m
8	Kesikköprü Barajı	Ankara, Bala	786 m
9	Kapulukaya Barajı ve HES	Kırıkkale	724 m
10	Ülkün HES	Çorum, Uğurludağ	534 m
11	Obruk Barajı ve HES	Çorum	510 m
12	Pirinçli HES	Çorum, Dodurga	444 m
13	Kargı Kızılırmak Barajı ve	Çorum	405 m
14	Boyabat Barajı ve HES	Sinop, Durağan	330 m
15	Altınkaya Barajı ve HES	Samsun, Bafra	190 m
16	Derbent Barajı ve HES	Samsun, Bafra	58 m
17	Saraçbendi HES	Sivas, Gemerek	
18	Kalecik HES	Ankara, Kalecik	

4.1.4. Kızılırmak Havzası'nın Bitki Örtüsü

Çalışma alanının genel olarak bitki örtüsü kuzeyi ile güneyi arasında farklılıklar göstermektedir. Kızılırmak nehrinin kaynak kısmı Sivas ili İmranlı ilçesi Kızıldağ'dan doğar ve büyük çoğunluğu İç Anadolu bölgesinden geçer. Bu bölgelerin genel olarak bitki örtüsü bozkır-steptir. Özellikle ilkbaharda yeşeren yaz mevsimi geldiğinde ise sararan ot formasyonlarıdır (Fotoğraf 3). Ağız kısmına doğru gidildikçe Karadeniz bölgesine girildiğinden burada genel olarak ağaç formasyonlarının yer aldığı görülmektedir. Kıyılara yakın alçak kesimlerde nehir boyunca kayın, kestane, ıhlamur gibi geniş yapraklılar varken yükseklerle doğru ladin, göknar gibi iğne yapraklı ağaçlardan oluşan ormanlar mevcuttur (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019).



Fotoğraf 3. Kızılırmak Havzasının Bitki Örtüsünden Bir Görünüm (Kayseri, Kocasinan)
www.kocasinan.gov.tr

Havza'nın genel olarak kuzeyine doğru gidildiğinde arazinin gür bitki örtüleriyle kaplı olduğu görülür. Güneye doğru gidildiğinde ise bitki örtüsü yönünden fakir bir ortam ve çıplak alanların yer aldığı arazilere rastlanmaktadır. Dolayısıyla Kızılırmak Havza'sını oluşturan arazinin kuzeyi gür bitki örtüsünden dolayı erozyon riski düşük çıkarken güney kısımları ise cılız bitki örtüsünden dolayı erozyon riski yüksek çıkmaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019).

4.1.5.Kızılırmak Havzasının Toprak Yapısı

Toprak yapısı bölgelerin erozyona karşı duyarlılık açısından önemli faktörlerden birisidir. Bazı toprak grupları daha dirençsiz bir yapıya sahip iken bazıları ise erozyona karşı daha dirençli bir yapıya sahip olmaktadır. Bu kapsamda sahada bulunan toprak tiplerini bilmenin erozyona karşı ne derece dayanıklı olduğu konusunda ön fikir sahibi olunabilir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019).

Havza içerisindeki büyük toprak gruplarına bakıldığında birçok toprak tipinin yaygın olarak var olduğunu görülmektedir. Bunlardan birkaçını sıraladığında; alüvyon topraklar, kahverengi orman topraklar, kahverengi topraklar, kestane rengi topraklar, kireçsiz kahverengi orman toprakları, kırmızımsı kahverengi topraklar, organik topraklar,

regosol topraklar ve diğer toprak grupları olarak sınıflandırılmaktadır. Bu toprak grupları içerisinde sahada en fazla görülen toprak grubu ise %38.52'lik pay ile kahverengi topraklar olarak ortaya çıkmıştır. Havzada bulunan diğer toprak grupları ve bulunma oranları Tablo 4'te verilmiştir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019).

Tablo 4. Kızılırmak Havzasındaki Büyük Toprak Grupları (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019)

Sıra No	Büyük Toprak Grupları	Alan(km ²)	Genel Alana Oranı(%)
1	Alüvyonlu Topraklar	7 245.20	8.81
2	Diğer Alanlar	395.30	0.48
3	Gri-Kahverengi Podzolik Topraklar	1954.70	2.38
4	Kahverengi Orman Toprakları	19 785.80	24.07
5	Kahverengi Topraklar	31 664.40	38.52
6	Kestane rengi Topraklar	2 479.90	3.02
7	Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları	2 305.20	2.80
8	Kireçsiz Kahverengi Topraklar	3 838.40	4.67
9	Kırmızı-Sarı Podzolik Topraklar	913.30	1.11
10	Kırmızımsı Kahverengi Topraklar	9 688.30	11.79

Sivas ili İmranlı ilçesindeki Kızıldağ'dan doğan Kızılırmak, belli bir süre aktıktan sonra kahverengi topraklara girmekte buradan Zara'ya kadar devam etmektedir. Zara'dan Sivas'a gidene kadar kahverengi ve kahverengi orman toprakları ile alüvyon topraklar üzerinden geçer. Sivas-Kayseri il sınırı boyunca kırmızımsı kahverengi toprak ve kireçsiz kahverengi toprağı üzerinden geçmektedir. Kayseri'den itibaren yarı kurak iklimin etkisinde gelişen step-bozkır vejetasyon altında grimsi kahverengi ve sıcaklığın etkisiyle kırmızımsı kahverengi bir hal almıştır. Nehrin ağız kısmı olan kuzey bölümüne doğru gidildiğinde ise kahverengi orman topraklarının hakim olduğu alandan geçer ve son olarak alüvyon topraklardan geçerek Karadeniz'e dökülür (Hakan Koç, 2018).

5.BULGULAR VE TARTIŞMA

Kızılırmak havzasında RUSLE modeli kullanılarak hesaplanacak erozyon risk analizinde sıra ile aşağıdaki faktörler tek tek hesaplanarak ortaya koyulmuştur.

5.1. YAĞIŞ EROZİVİTESİ (R) FAKTÖRÜ

Erozyon denildiğinde ilk akla gelen etkenlerden birisi yağıştır. Ayrıca yağışın miktarı, oluşum şekli ve rejimi dahi erozyon üzerinde büyük etkiye sahip olmaktadır. Özellikle yağmur damlalarının aşındırarak elde ettiği malzemeler hem eğimin hem de suyun akış kuvvetinin etkisiyle hareket etmektedir (Cürebal, 2006). RUSLE modeliyle yapılacak toprak kaybı hesaplamasında kullanılacak R faktörünün hesaplanması amacıyla birtakım verilere ihtiyaç duyulmuştur.

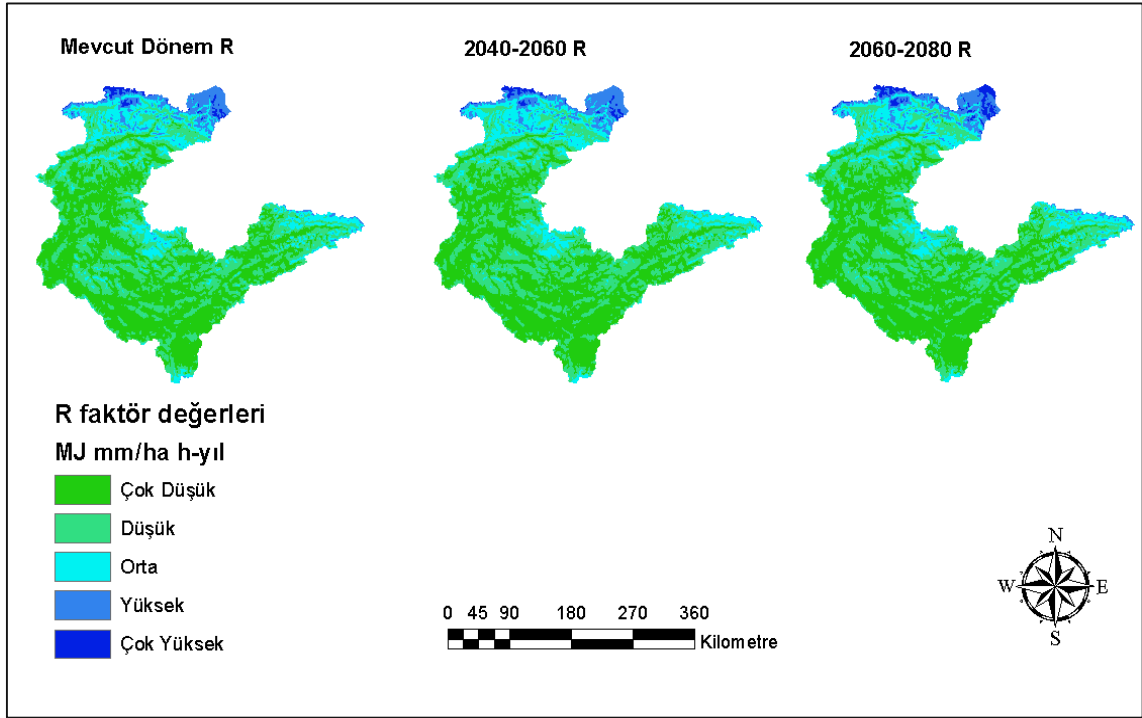
Hesaplama yapılırken öncelikle Kızılırmak havzasının güncel dönem yıllık ortalama yağış değeri kullanılarak havzanın güncel R faktör değeri bulunmuştur. Daha sonra ise Chelsa veri tabanından elde edilen 2050 ve 2070 dönemlerine ait yağış projeksiyon verileri kullanılarak bu yıllara ait R faktör değer projeksiyonları eşitlik 2 deki formül ile hesaplanmıştır. Çalışmalar sonucunda elde edilen R faktör haritasının verdiği sonuca göre Kızılırmak havzasında erozif nitelikte yağışların daha çok sahanın kuzeyi ve kuzeydoğusunda görüldüğü ortaya çıkmaktadır. Bu sonuçlara göre minimum R değeri 17 MJ mm/ha h-yıl, maksimum R değeri 242 MJ mm/ha h-yıl ve ortalama R değeri ise 45 MJ mm/ha h-yıl olarak hesaplanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Kızılırmak Havzası (R) Faktör Değerleri

R faktör değerleri	MJ mm/ha h-yıl
Minimum Erozif Yağış	17.0618
Maksimum Erozif Yağış	242.170
Ortalama Erozif Yağış	45.28

Bu hesaplanan R faktörlerinin vermiş olduğu sonuç ise; sahada erozyona sebep olacak yağış faktörü havzanın Karadeniz bölge sınırları içinde kalan ve yıllık ortalama 1590 mm yağışa sahip olan bölümler olduğu görülmektedir. Nitekim sahanın güney kısımlarına doğru toprak erozyonu üzerinde etkili olan R faktör değerinin kademeli olarak düştüğü izlenmiştir (Şekil 7). Ayrıca Kızılırmak nehrinin kuzey ve güney kısımları, deniz

kıyısı ve iç kesimleri birbirine bağlamaktadır. Bu bağlamda havzanın her iki tarafındaki bağlantı dağ silsileleriyle genel olarak kesildiğinden R faktör enerjisi de güneye doğru kademeli olarak düşmektedir (Erpul G., 2016)



Şekil 7. Kızılırmak Havzası'nın Güncel ve Gelecek Dönem R Faktör Haritası

Kızılırmak havzasında meydana gelen toprak erozyonunda, havzanın güney kesimlerine inildikçe özellikle arazi örtüsünün zayıf olması bu bölümde yağın sağanak yağmurların erozif özellik kazanmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle bu alanlarda erozyon riski havzanın kuzey kesimlerine göre C- faktörünün zayıf kalmasından dolayı daha yüksektir. Havzanın kuzey ve kuzey doğusunda R değeri oldukça yüksek çıksa da bu alanlarda bitki örtüsünün yoğun olması erozyona karşı koruyucu etki yapmıştır. Genel olarak yağış erozovitesinin sınıflandırma değer aralıkları tablo 6'da yer almaktadır.

Tablo 6. R Faktörü Değer Aralıkları

R Faktör Değeri	MJ mm/ha h-yıl
Çok Düşük	15 - 35
Düşük	35 - 53
Orta	53 - 82
Yüksek	82 - 125
Çok Yüksek	125 - 252

5.2. 2050 VE 2070 DÖNEMLERİ YAĞIŞ EROZİF (R) FAKTÖR PROJEKSİYONU

2050 ve 2070 dönemlerinde erozif nitelikte R faktör değerlerinin görece olarak azaldığı göze çarpmaktadır. Güncel ortalama R faktör değeri 45 MJ mm/ha h-yıl iken bu oran 2050 döneminde 43 MJ mm/ha h-yıl ve 2070’de ise 41MJ mm/ha h-yıl olarak hesaplanmıştır (Tablo 7). Bu sonuçlarda aslında dünyanın küresel olarak ısınma eğiliminde olduğunun göstergelerinden biri olarak düşünülebilir. Gelecek dönem için hesaplanan R faktör değerlerine göre; Kızılırmak havzasının büyük kısmı İç Anadolu bölge sınırları içinde yer alan güney bölümünde günümüzden daha da kurak dönemlerin yaşanacağını sonucu ortaya çıkmaktadır.

2050 Dönemi (R) faktör Projeksiyon	MJ mm/ha h-yıl	2070 Dönemi (R) faktör Projeksiyon	MJ mm/ha h-yıl
Minimum Erozi Yağış	15.063	Minimum Erozi Yağış	14.315
Maksimum Erozi Yağış	252.927	Maksimum Erozi Yağış	236.866
Ortalama Erozi Yağış	43.453	Ortalama Erozi Yağış	41.520

Tablo 7. Kızılırmak Havzası’nın 2050-2070 Dönemleri Projeksiyon (R) Değerleri

Havzanın kuzey ve kuzey doğusunu oluşturan ve Karadeniz bölge sınırları içinde yer alan bu bölümde ise iklimin git gide ılımanlaştığını ve erozif nitelikteki yağış değerlerinin düşeceği tahmin edilmektedir (Şekil 7). Her ne kadar gelecek dönemlerde R faktör değerlerinin kısmi olarak azalacağı tahmin edilse de yalnızca bu durum bize toprak erozyonunun azalacağı hakkında bilgi vermez. Toprak erozyonunun hesaplanmasında tüm parametrelerin birlikte oluşturduğu sonuç kullanılmakta ve değerlendirilmektedir.

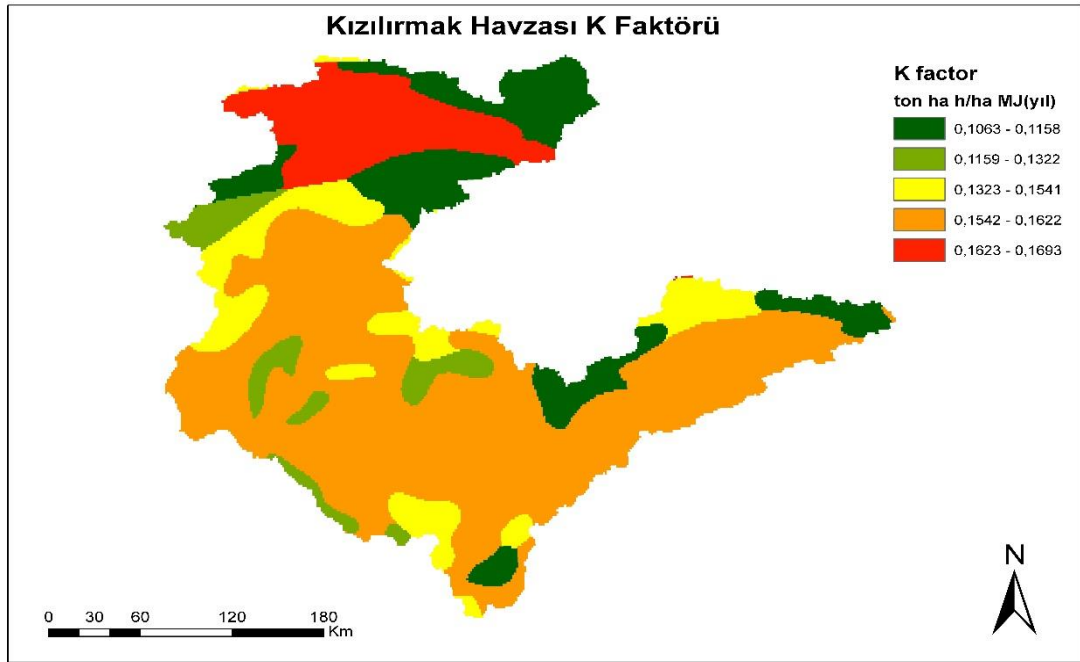
5.3. TOPRAK DİRENÇ (K) FAKTÖRÜ

Erozyon ile ilgili çalışmalarda toprağın yapısı ve dokusu önem arz eder (Mater, 1998). Bu kapsamda elde edilen K faktör değerleri incelendiğinde minimum 0.1063 ton ha h/ha MJ yıl, maksimum 0.1693 ton ha h/ha MJ yıl ve ortalama değer olarak ise 0.1507 ton ha h/ha MJ yıl sonuçları ortaya çıkmaktadır (Tablo 8). Genel olarak K faktör değerlerinin, havzanın kuzeyinden güneyine doğru arttığı görülmektedir.

Tablo 8. Kızılırmak Havzası K Faktör Değerleri

K faktör değerleri	ton ha h/ha MJ (yıl)
Minimum toprak direnci	0.1063
Maksimum toprak direnci	0.1693
Ortalama toprak direnci	0.1507

Havzanın Bafra deltası civarında bulunan alüvyal toprakların bulunduğu arazinin erozyona karşı toprak direnci oldukça zayıftır. Kızılırmak Havzası'nda en fazla bulunan toprak grubu bitki örtüsü yönünden zayıf olan kahverengi ve kestane renkli topraklar % 38,52 ile birinci sırada yer alır (Anonim, 2019). Toprak grubu aşınmaya karşı zayıf dirençli olduğundan K değerini oldukça yüksek çıkarmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Kızılırmak Havzasının K Faktörü Haritası

5.4. YAMAÇ EĞİM UZUNLUĞU (L) VE EĞİM DERECEŚİ (S) FAKTÖRÜ

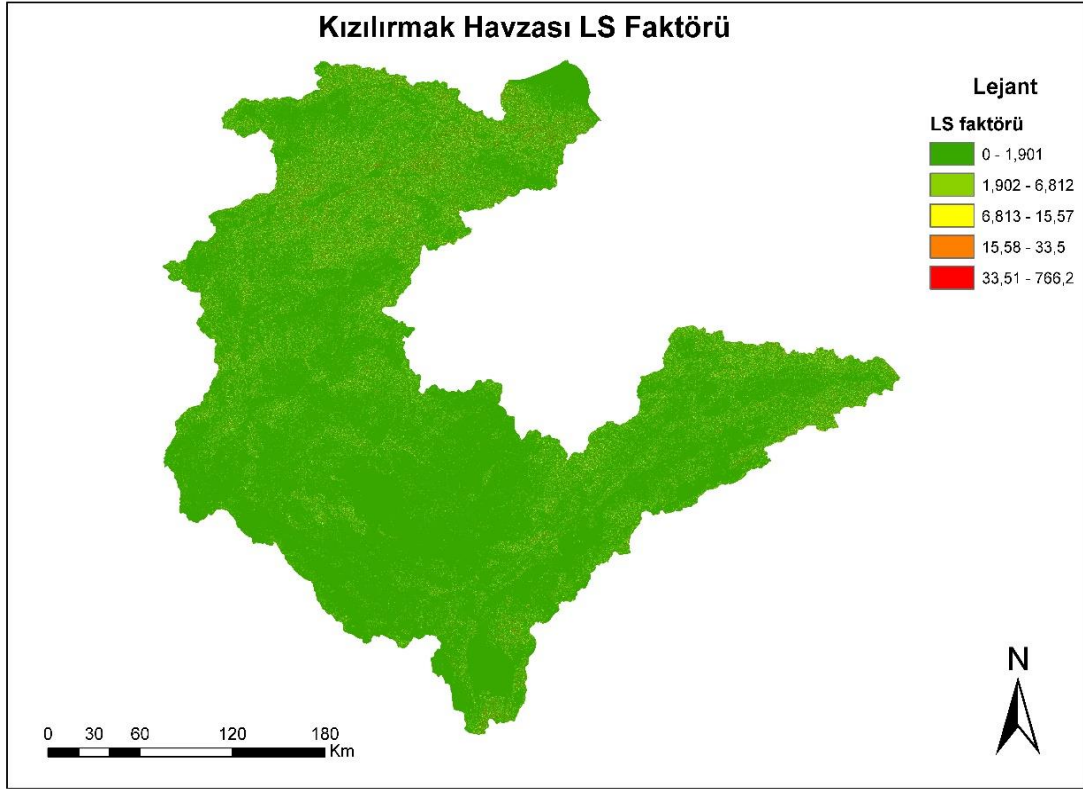
RUSLE modeline göre erozyon hesaplanmasında kullanılan faktörlerden bir diğeri de LS faktörüdür. L (Eğim uzunluğu) ve S (Eğim dikliği) toprak erozyonunu tetikleyen jeomorfolojik parametrelerdendir.

Sonuç olarak ortaya çıkan hesaplamalar doğrultusunda LS faktörünün minimum değeri %0 maksimum değeri %766,164 ve ortalama değeri ise %0,880 olarak hesaplanmıştır (Tablo 9). Eğim genel olarak Kızılırmak havzasının iç kısımlarından kuzeye doğru bir yönelim göstermektedir. Kuzeyde eğim dikliğinin arazinin yapısından dolayı daha fazla olduğu, iç bölgelerde ise nispeten daha düz arazilerin var olduğu gözlenmektedir.

Tablo 9. Kızılırmak Havzası LS Faktör Değerleri

LS faktör değerleri	LS değerleri %
Minimum değer	0
Maksimum değer	766.164
Ortalama değer	0.880

Eğim uzunluğu ve dikliği değerinin genel olarak İç Anadolu'dan nehrin döküldüğü Karadeniz'e doğru azaldığı görülmektedir. Çankırı, Samsun civarında ise yüksek dağlık alanlardan dolayı eğimin aniden düştüğü görülmektedir (Şekil 9). Nitekim arazinin eğim doğrultusu, üzerinde akan akarsuyun akış yönünü ve akış hızını tayin ettiği için yer şekillerinin eğim derecesi ve yükselti özelliği toprak aşınımı üzerinde belirli bir etkiye sahiptir.



Şekil 9. Kızılırmak Havzası'nın LS Faktörü Haritası

5.5. C-FAKTÖRÜ (BİTKİSEL ÖRTÜ VE ÜRÜN FAKTÖRÜ)

Bu faktör hesaplanırken CORINE 2018 verisi elde edilmiş olup bu veri kullanılarak havzasının arazi örtü sınıfları ve C faktör değerleri hesaplanmıştır. Bunun sonucunda, arazi örtüsüne bakıldığında en fazla yer kaplayan arazi sınıfının % 25,42'si sulanamayan tarım alanları, %12,13'ü sulanabilen tarım alanları ve bunu takiben doğal çayırılık ve doğal bitki örtüsü olduğu görülmektedir (Tablo 10).

Tablo 10. Kızılırmak Havzası'nın C Faktör Değerleri Ve Arazi Örtü Sınıfları

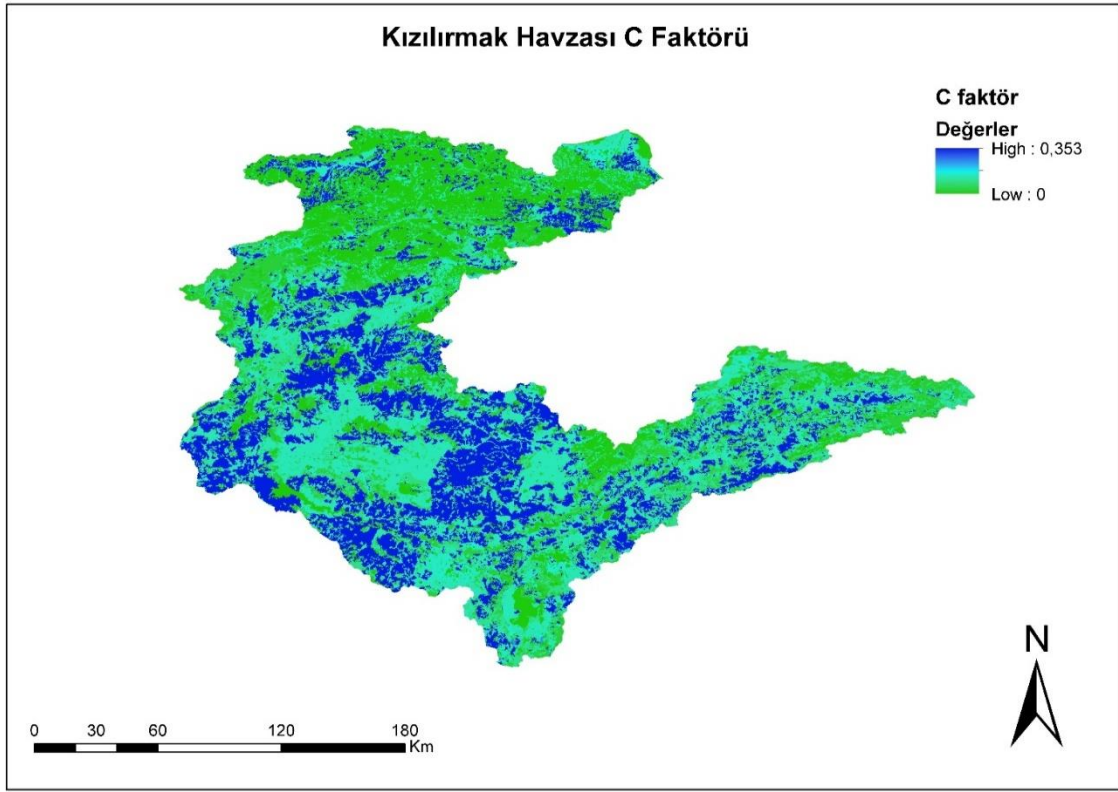
Corine Cod	C faktör	Arazi Örtüsü	Alan (km ²)	Oran %
111	0	Sürekli şehir yapısı	45,52	0,06%
112	0	Kesikli şehir yapısı	822,93	1,00%
121	0	Endüstriyel ve ticari alanlar	137,93	0,17%
122	0	Karayolları ve Demiryolları	6,29	0,01%
123	0	Limanlar	0,72	0,00%
124	0	Havaalanları	17,29	0,02%
131	0	Maden sahaları	83,21	0,10%
132	0	Boşaltım sahaları	3,17	0,00%
133	0	İnşaat sahaları	33,30	0,04%
141	0,04	Yeşil şehir alanları	4,67	0,01%
142	0	Spor ve eğlence alanı	14,41	0,02%
211	0,3	Sulanmayan ekilebilir alan	20931,73	25,49%
212	0,125	Sürekli sulanan alanlar	9959,90	12,13%
213	0,1	Pirinç tarlaları	313,13	0,38%
221	0,353	Üzüm bağları	220,21	0,27%
222	0,219	Meyve bahçeleri	56,29	0,07%
231	0,09	Meralar	1525,84	1,86%
242	0,138	Karışık tarım alanları	3704,48	4,51%
243	0,123	Doğal bitki örtüsü	9232,70	11,24%
311	0,001	Geniş yapraklı ormanlar	2411,03	2,94%
312	0,001	İğne yapraklı ormanlar	4799,03	5,84%
313	0,001	Karışık ormanlar	2042,48	2,49%
321	0,044	Doğal çayırliklar	9669,81	11,78%
323	0,01	Sklerofil bitki örtüsü	2,81	0,00%
324	0,022	Bitki değişim alanları	5733,63	6,98%
331	0	Sahil kumsal kumluk	97,15	0,12%
332	0	Çıplak kayalıklar	520,60	0,63%
333	0,1	Seyrek bitki alanları	8258,68	10,06%
334	0,1	Yanmış alanlar	3,41	0,00%
411	0	Bataklıklar	334,98	0,41%
421	0	Tuz bataklığı	104,74	0,13%
422	0	Tuzlalar	0,25	0,00%
511	0	Su yolları	137,38	0,17%
512	0	Su kütleleri	825,68	1,01%
521	0	Kıyı lagünleri	33,75	0,04%
523	0	Nehir ve okyanus	19,55	0,02%
Toplam			82108,68	100%

Toprak erozyonunu artıran durumlardan bir diğeri de yağışların sağanak şekilde yağmasıdır. Sağanak şekilde yağın yağmur damlalarının zemin ile teması sert olmakta ve bu da aşındırma faaliyetlerini artırmaktadır. Kızılırmak Havzası'nın büyük kısmının C faktör değerinin yüksek olmasının sebebi, havzanın büyük çoğunluğunun çıplak arazi olması ve aşındırılan bu arazi topraklarının yüksek eğim ile birlikte taşınmasıdır. Bu durum toprak taşınmasını hızlandırmakta ve erozyon riskini de artırmaktadır. Fakat bitki örtüsünün gür olduğu Karadeniz bölgesinde bu değerler daha düşük çıkmıştır. Bu kapsamda, elde edilen verilerle yapılan hesaplamalar sonucunda C faktör değerlerinde minimum değer 0, maksimum değer 0.353 ve ortalama değerin ise 0.131 olarak ortaya çıkmıştır (Tablo 11).

Tablo 11. Kızılırmak Havzası'nın C Faktör Değerleri

C faktör değerleri	Değerler
Minimum değeri	0
Maksimum değeri	0.353
Ortalama değeri	0.131

Kızılırmak havzası boyunca kuzeye doğru gidildiğinde ise Karadeniz bölge sınırlarına doğru girilmiş olunacaktır. Dolayısıyla burada bitki örtüsü yönünden yoğun bir ortam bulunduğu için yağın yağmurun damlaları ağaç yaprakları ve dallarına çarptığından dolayı erozyonun şiddetini azaltıcı etki gösterebilir (Şekil 10). Bu sebeple havzanın kuzeyi güneyine göre bitki örtüsü yönünden zengin olduğu için erozyon riski bu bölümde daha azdır. Sonuç olarak bitki örtüsüyle erozyon arasında ters bir orantı vardır (Kılıç, 2021).



Şekil 10. Kızılırmak Havzası C Faktör Haritası

5.6. P (KORUMA UYGULAMALARI) DEĞERİ

RUSLE yönteminde P faktörü erozyonun şiddetini en aza indirmek amacıyla alınacak olan önlemleri ifade etmektedir. (Lane L. R., 1992). Bu önlemlerden bazıları şunlardır. Yamaçlarda kademelendirme yapmak, yamaçlarda teraslama yapmak, bitki örtüsünün yoğunluğu artırmak ve kanallar inşa etme vb. uygulamalardır. Bu hesaplamada, değerler 0-1 arasında çıkmaktadır. Ancak çalışma sahasında toprak erozyonuna karşı çok büyük çapta koruma önlemleri alınmadığından P faktörü 1 olarak alınmıştır.

5.7. KIZILIRMAK HAVZASININ TOPRAK EROZYONU

Çalışma sahasında yapılan araştırma sonucunda, meydana gelen ve gelebilecek olan toprak erozyonunun toprak örtüsü ve su kaynaklarının değişimi üzerinde de etkili olduğu görülmüştür (Fikir, 2009). Türkiye'nin bulunduğu konum itibariyle, sahip olduğu topoğrafya, iklim ve toprak yapısı toprak erozyonun karşı hassas olmasını beraberinde getirmiştir. Ülkemizin yüksek ve oldukça eğimli olan bir ülke olması, ortalama

yükseltisinin 1132 m. ve arızalı birçok arazi alanına sahip olması erozyon açısından risk oluşturmaktadır. Türkiye'nin özellikle kurak ve yarı-kurak alanları zaten organik madde açısından oldukça zayıftır. Zayıf olan bu toprak grubunun da yok olması geriye sadece toprağın humusça fakir olan kısmının ortada kalmasına sebep olacaktır.

Toprak erozyonu açısından bu denli riskli bir bölge olması sebebiyle erozyon ve çölleşme ile ilgili çeşitli program ve uygulamaların geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Toprak erozyonunun meydana gelmesinde tek bir veya birkaç parametrenin yalnız başına kullanılması veya değerlendirilmesi bize doğru sonucu vermeyecektir. Bu sebeple dünyada ve ülkemizde toprak erozyonun şekli, oluşumunu, şiddetini ve boyutlarını belirlemek geçmişten günümüze kadar devamlı araştırma konusu olmuştur.

Araştırmalar sonucunda toprak erozyonunun en şiddetli olan yerlerden biride yine yarı-kurak saha olan Kızılırmak havzası olarak göze çarpmaktadır. Özellikle havzanın çoğu bölümünün bitki korumasından mahrum kalan bölgeler içerisinde yer alması, toprak yapısının erozyona daha dayanıksız yapı ve dokuya sahip olması buna sebep olan etkenlerdendir.

Ülkemiz sınırları içerisindeki en uzun akarsu olan Kızılırmak nehrinin taşıdığı sediment miktarı azımsanmayacak kadar çoktur. Kızılırmak havzasını oluşturan sahanın büyük çoğunluğu İç Anadolu'nun çıplak arazilerinde ve bozkır alanlarından oluşmaktadır. Havzanın diğer kısmı ise kuzeyde yer alan bölümdür. Bu alan yağışın erozyonu tetikleyici nitelikte olduğu Karadeniz bölge sınırları içinde kalır. Dolayısıyla havzanın farklı bölümlerinde erozyon şiddetinin farklılıklar göstermesi olağandır.

Türkiye su erozyonu atlası incelendiğinde ise Kızılırmak Havzası sınırlarında bulunan illerden güncel olarak yıllık taşınan sediment miktarı verileri gösterilmiştir. Buradan da anlaşılacağı gibi erozyon miktarı il bazında değerlendirildiğinde yüzölçümünün en büyük olduğu ve kuraklığın en belirgin yaşandığı Sivas ilinde ortalama yıllık erozyon 5.97 (ton ha/yıl)'dır. Aynı şekilde yine R faktör değerlerinin yüksek olduğu ve eğimin etkisiyle ikinci yüksek erozyon değeri ise 6.66 (ton ha/yıl) ile Samsun ilinde meydana gelmektedir (Tablo 12).

Tablo 12. Kızılırmak Havzası'nda Meydana Gelen Toprak Erozyonunun İllere Göre Dağılımı (Erpul G., 2016)

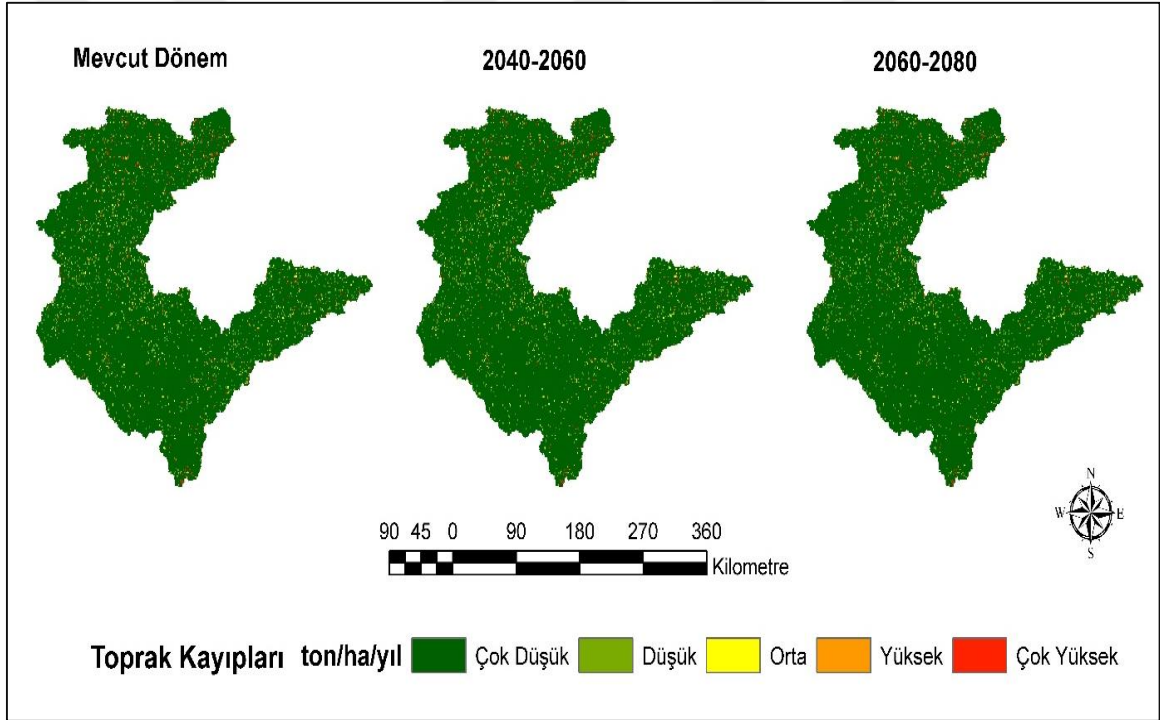
İL ADI	Toplam Alan (ha)	Toplam Erozyon (ton/yıl)	Ortalama Erozyon (ton/ha/yıl)
SİVAS	2.814.918	16.812	5.97
KAYSERİ	1.701.579	9.691	5.70
NEVŞEHİR	548.172	1.851	3.38
KIRŞEHİR	658.197	2.610	3.97
KIRIKKALE	478.693	2.452	5.12
ANKARA	2.562.124	12.879	5.03
AKSARAY	765.513	1.777	2.32
ÇANKIRI	754.426	4.243	5.62
ÇORUM	1.242.893	8.821	7.10
SİNOP	572.066	2.403	4.20
SAMSUN	972.776	6.480	6.66

Çalışma sahası erozyon açısından değerlendirildiğinde toprağın oluşum süreleri ile toprak kaybı süresi arasında muazzam bir farkın olduğu görülmektedir. Özellikle erozyon süresi ağaçsız çıplak arazilerde çok daha kısa bir zamanda gerçekleşmektedir. Zaten çok uzun bir süreç sonucunda meydana gelen toprak örtüsünün en azından erozyona uğrama süresini uzatmak ise yapılacak çalışmalar ve alınacak önlemler ile uzatılabilmektedir.

Çeşitli çevreci kurum veya kuruluşlarınca Kızılırmak nehrinin taşıdığı sediment miktarı araştırılmış ve çalışmalara konu olmuştur. Bu çalışmada ise RUSLE(Revize edilmiş evrensel toprak kaybı denklemi) modeliyle modelin içerdiği parametrelerin hesaplanması dahilinde çalışma alanının öncelikle güncel toprak kaybı hesaplanmış Küresel İklim Modeli olan Chelsa modeline göre 2050 ve 2070 dönemlerinde meydana gelebilecek toprak kaybı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonuç olarak güncel 2050 ve 2070 dönemlerinde meydana gelen ve gelecek tahmini toprak kayıpları olarak üç alt başlıkta toplanmıştır.

5.8. KIZILIRMAK HAVZASI'NIN GÜNCEL(2020)-2050 VE 2070 YILLARI TOPRAK KAYBININ KARŞILAŞTIRILMASI

Kızılırmak havzasında meydana gelen toprak kaybının azalış miktarı yıllar geçtikçe azalsa da genel olarak erozyonun boyutunun hala büyük olduğu ortadadır. Geçmiş, günümüz ve gelecek yıllar arasındaki erozyonun bağlantısı incelendiğinde, arazinin üzerinde ki verimli toprak örtüsünün tamamına yakınının yok olacağı ve kayalık alanların ortaya çıkacağı düşünülmektedir. Güncel toprak erozyonu değerlerini harita üzerinden incelediğimizde değerlerin oldukça yüksek olduğu göze çarpmaktadır (Şekil 11).



Şekil 11. Kızılırmak Havzası'nın Güncel Dönem ve Gelecek Dönemler Toprak Kaybı Haritası

Güncel dönemde oluşan ve gelecek dönemlerde meydana gelebilecek muhtemel toprak kaybının risk grupları değer aralığı incelendiğinde havzada ne kadar toprağının bu risk alanlara girdiğini daha kolay anlarız (Tablo 13).

Tablo 13. Meydana Gelen Toprak Kaybının Değer Aralıkları

Toprak Kayıp Değeri	Ton/ha/yıl
Çok Düşük	0 - 2
Düşük	2 - 4
Orta	4 - 6
Yüksek	6 - 10
Çok Yüksek	10 - 119

Yıllar arasındaki toprak erozyonunun değişim miktar ve oranları incelendiğinde toprak erozyonunun belirli bir süreç dahilinde meydana getirdiği değişim daha net anlaşılacaktır (Tablo 14).

Tablo 14. Kızılırmak Havzası'nın Güncel Dönem ve Gelecek Dönemler Arındaki Erozyonun Karşılaştırılması

	2020 (ton ha/yıl)	2050(ton ha/yıl)	2070(ton ha/yıl)	2020-2050 fark (ton ha/yıl)	2050-2070 Fark (ton ha/yıl)	2020-2070 Fark (ton ha/yıl)
Maksimum Erozyon	-119,438	-118,692	-112,332	0,74	6,36	7,10
Ortalama Erozyon	- 0,528	- 0,504	- 0,482	0,24	0,22	0,46
				2020-2050 Fark (%)	2050-2070 Fark (%)	2020-2070 Fark (%)
Maksimum Erozyon Değerlerinin Yıllık Değişim Oranları				- 4,76%	- 4,564%	- 9,54%
Ortalama Erozyon Değerlerinin Yıllık Değişim Oranları				- 0,63%	-5,66%	- 6,33%

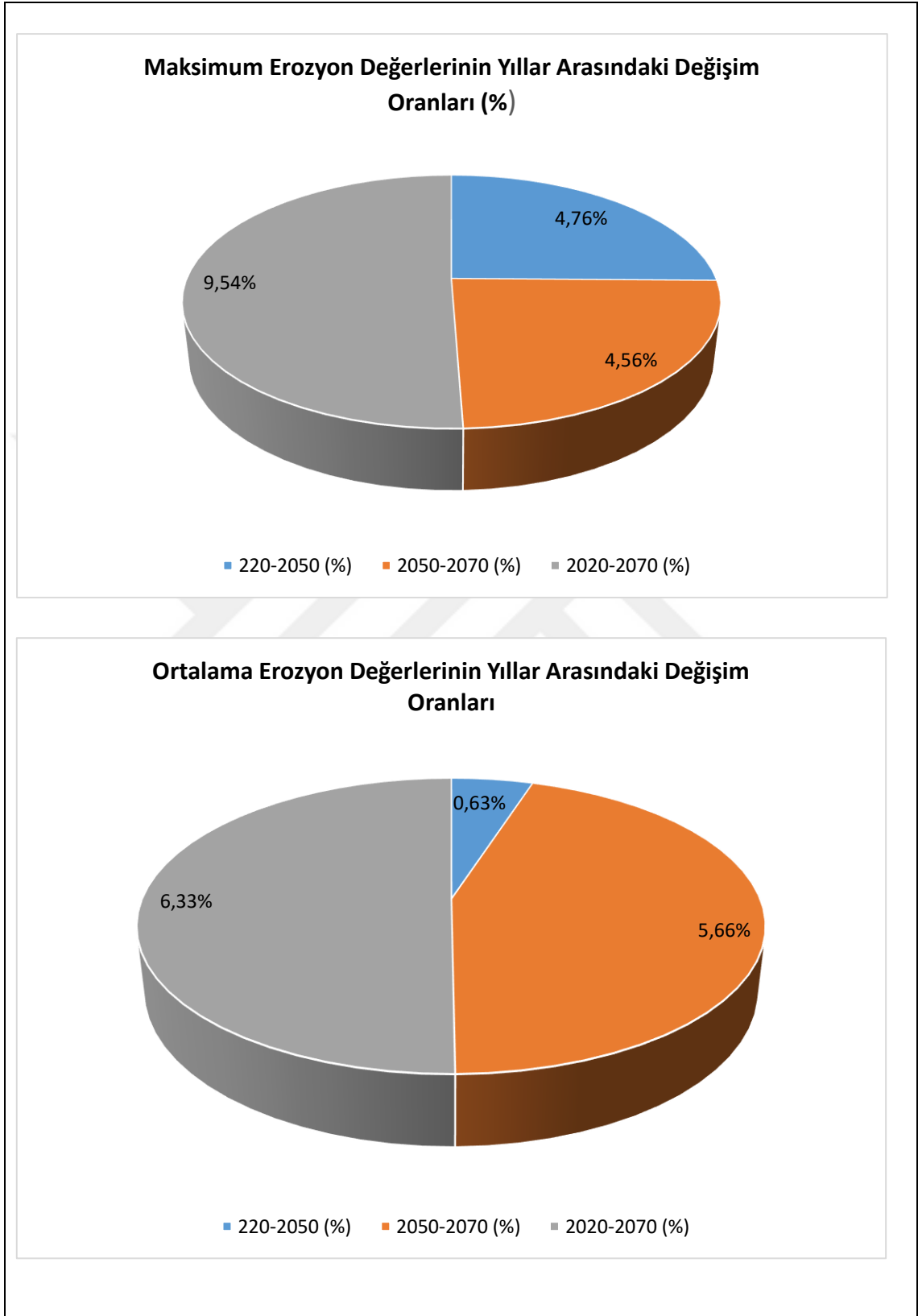
Bu çalışma sonucunda Kızılırmak Havzası'nda meydana gelen güncel dönem ortalama toprak kaybı 0,528 ve maksimum toprak kaybı 119,438 (ton ha/yıl) olarak hesaplanmıştır. Bu değer 2050 döneminde ortalama yıllık erozyon 0,504 maksimum erozyon ise 118,692 (ton ha/yıl) ve 2070 dönemi tahminine göre ise ortalama yıllık erozyon 0,482 ve maksimum yıllık erozyonun 112,332 (ton ha/yıl)'a kadar düşeceği tahmin edilmektedir. Üç ayrı dönem karşılaştırıldığında en yüksek değer güncel veriler olduğu gözle çarpılmaktadır.

Güncel veriler ile 2050 dönemi arasında %4,76'lık bir değişimle yıllık bazda toprak erozyonunun 24 ton azaldığı, aynı şekilde 2050 ile 2070 dönemleri arasında %4,56'lık bir değişimle yıllık toprak erozyonunun 2050 dönemine göre 22 ton daha az olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde 2020 ile 2070 dönemleri arasındaki toprak erozyonundaki değişim ise 2070 döneminin güncel erozyona göre %9,54'lük bir azalışla 46 ton daha az erozyona uğradığı sonuçları ortaya çıkmaktadır (Tablo 12). Gelecek yıllarda yaşanabilecek erozyondaki bu değişimleri daha net anlayabilmek adına şekil 12 ve 13'ü incelemek faydalı olacaktır.

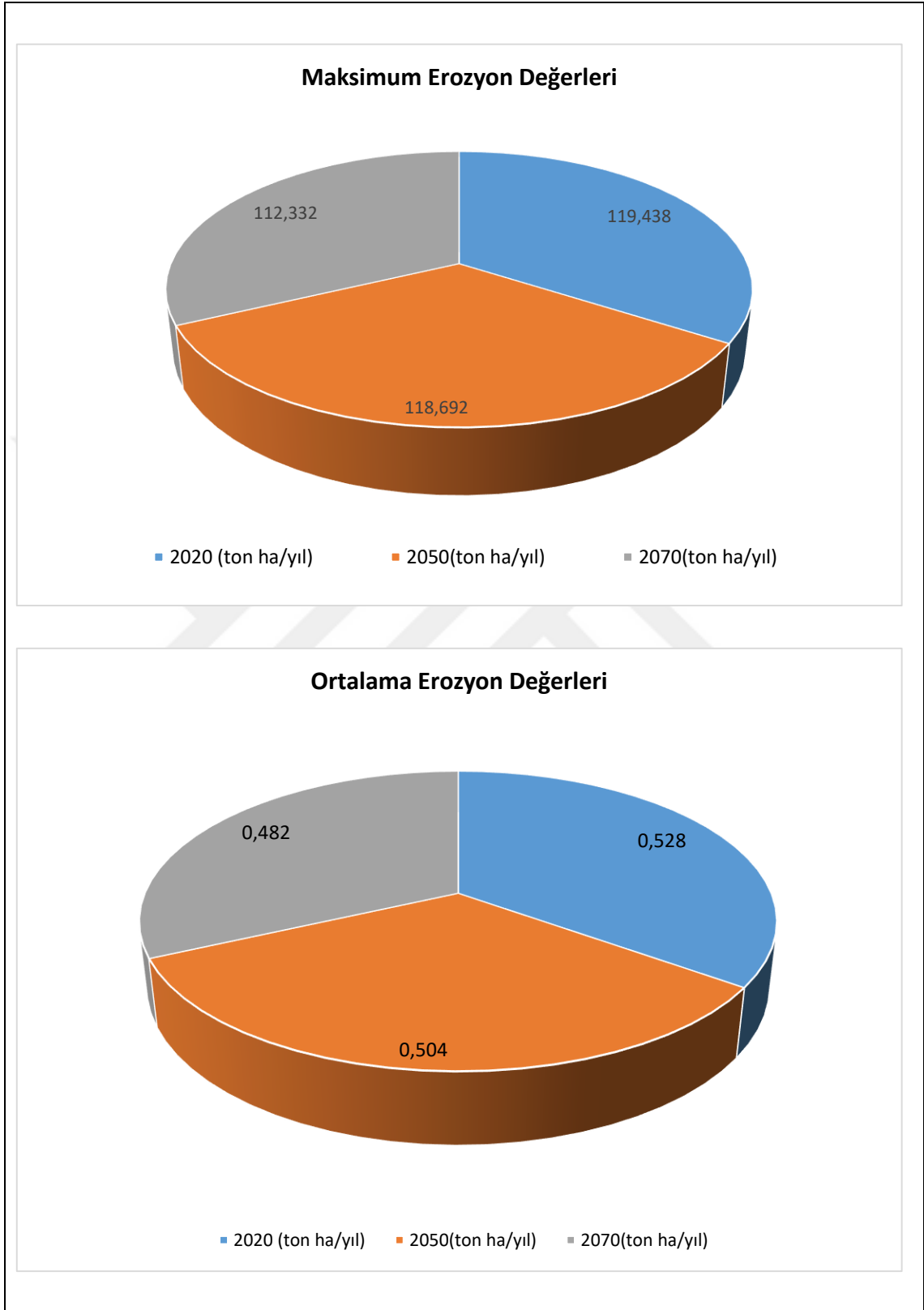
Elde edilen verilere göre havza genelinde uzun yıllar ortalamasına göre erozyonun şiddetinin düşeceği yönünde eğilim göstermektedir. Bu sonuçların ortaya çıkmasında RUSLE modeline göre hesaplama yapılan bu çalışmada değişken olarak kullanılan tek faktör R (erozif yağış) faktörünün alınmış olmasıdır. Bu modelin diğer parametreleri gelecek dönemlerde de günümüz ile aynı koşulları taşıdığı düşünülerek hesaplamalar yapılmıştır. Nitekim gelecek dönemlerde C faktör bitki örtüsü faktörü ve özellikle P faktörü toprağın bilinçli korunması faktörü gibi durumlar değişebileceğinden sonuçlarda değişiklikler olabilecektir.

Bu sonuçlar Chelsa küresel iklim modelinin içerisinde CCSM modeli RCP 4.5 senaryosuna göre R değişken faktörü için elde edilen güncel yağış verileri ile 2050 dönemi yıllık ortalama yağış verileri ve 2070 dönemi yıllık ortalama yağış verileri elde edildikten sonra yapılan hesaplamalar ile ortaya çıkmıştır. Hesaplamalarda dönemlere göre elde edilen veriler formülize edilerek R değerlerine dönüştürülmüştür. Bu değerlere göre uzun yıllar ortalaması olarak erozif nitelikli yağışın düşeceği tahmin edildiği için genel olarak toprak erozyonu şiddetinin azalacağı tahmin edilmektedir. Her ne kadar toprak erozyonunun şiddeti gelecek dönemlerde düşecek olsa da bu sonuç toprak erozyonu riskinin ortadan kalktığı anlamına gelmemektedir. Uzun yıllar boyunca meydana gelen toplam erozyon oranı değerlendirildiğinde çok fazla verimli toprak kaybı yaşandığı için birçok alanı olumsuz etkileyeceği düşünülmektedir.

Özellikle erozyon sonucu Kızılırmak nehri tarafından taşınan malzemeler, nehir üzerindeki barajları doldurduğundan dolayı bu malzemeler akarsuyun döküldüğü Bafra deltasına ulaşmakta zorluk çekmekte ve sonuç olarak delta gelişimi bu durumdan olumsuz etkilenmektedir.



Şekil 12. Çalışma Alanındaki Erozyonun Güncel Ve Gelecek Yıllar Arasındaki Yüzdelerdeki Değişimleri



Şekil 13. Çalışma Alanındaki Güncel Ve Gelecek Dönemlerdeki Erozyon Değerleri

Çalışma sahasında incelenen veriler sonucunda belirli bölgeler erozyon bakımından yüksek riskli olarak tespit edilmiştir. Toprak erozyonu açısından yüksek riskli olan bu bölgeler için erozyonu azaltıcı birtakım önlemlerin alınması ve planlamaların yapılmasının önemli olduğu ortadadır (Tablo15, Tablo 16, Tablo 17).

Tablo 15. Kızılırmak Havzası'nda Güncel RUSLE Yöntemine Göre Potansiyel Toprak Kaybı Değer Aralığı

Toprak Kaybı Miktarı (t/ha/yıl)	Risk Kategorisi
0-1,87	En Az Riskli
1,88-7,99	Az Riskli
7,5-20,6	Riskli
20,7-49,2	Yüksek Riskli
49,3-119	En Yüksek Riskli

Tablo 16. Kızılırmak Havzası'nda 2050 Yılı RUSLE Yöntemine Göre Potansiyel Toprak Kaybı Değer Aralığı

Toprak Kaybı Miktarı (t/ha/yıl)	Risk Kategorisi
0-1,86	En Az Riskli
1,87-7,45	Az Riskli
7,46-19,5	Riskli
19,6-45,6	Yüksek Riskli
45,7-119	En Yüksek Riskli

Tablo 17. Kızılırmak Havzası'nda 2070 Yılı RUSLE Yöntemine Göre Potansiyel Toprak Kaybı Değer Aralığı

Toprak Kaybı Miktarı (t/ha/yıl)	Risk Kategorisi
0-1,76	En Az Riskli
1,77-7,49	Az Riskli
7,5-19,8	Riskli
19,9-44,1	Yüksek Riskli
44,2-112	En Yüksek Riskli

Çalışma sahasının toprak erozyonu risk grupları incelendiğinde güncel dönem ile 2050 ve 2070 dönemlerindeki risk bölgelerinin pek değişmediğini, yeterli koruma önlemleri alınmadığı takdirde aynı erozyon risk sınıflarının yüksek görüldüğü sahaların küresel ısınmayla birlikte azalan yağıştan dolayı az da olsa küçüleceği tahmin edilmiştir.

Toprak erozyonunun genel eğiliminin azalış yönünde olduğu sonucu çıkmasında hiç kuşkusuz küresel iklim ısınmasının etkisinden söz edilebilir. Chelsa küresel iklim modelinin zaman içerisinde atmosferde artacak karbon oranı üzerinden tahmin yürütmesi ve R (erozif yağış) faktörün değerinin düşmesi toprak erozyon miktarını yıllar içerisinde azaldığı göstermektedir. Ancak bu yalnızca küresel iklim modeline göre yapılmış bir çalışma olduğundan bu kapsamda değerlendirilmektedir. Nitekim yaşamsal faaliyetlerimiz için çok kıymetli olan ve oluşumu için birçok faktörün bir araya gelerek binlerce yıl zaman geçen toprak örtüsü, her geçen yıl azalarak erozyona uğrasa da çok kısa bir zaman sonra erozyona uğrayacak toprak örtüsü kalmayacak veya çok az kalarak Kızılırmak sahasının çoraklaşmasına sebep olacaktır.

İnceleme alanında RUSLE modelinin kapsamında ele alınan tüm parametrelerin toprak erozyonu üzerinde etkili olduğunu söylemek mümkündür. Fakat çalışma alanının her yerinde aynı parametreler aynı oranda etkili değildir. Elde edilen C faktör değerleri incelendiğinde, havzanın güney kesimlerinin çıplak araziye sahip olmasından dolayı, erozyon açısından yüksek riskli alan olarak karşımıza çıkarken, bitki örtüsü yönünden zengin olan kuzey kesimler erozyon açısından daha az riskli alanlar olarak değerlendirilmektedir.

Araziyi eğim LS parametreleri üzerinden değerlendirdiğimizde ise çalışma alanında Çankırı ve Samsun illerinin bulunduğu bölüm bu değer daha yüksek iken geri kalan bölümlerde Kızılırmak akarsuyunun ağız kısmının orta çığıra kadar görece olarak eğim değerlerinin toprak erozyonu üzerinde daha az etkili olduğu söylenebilir. Yine R faktör açısından değerlendirildiğinde ise havzanın kuzey kesimlerinin daha fazla yağış alması erozyon riskini yükseltirken iç kısımlar ve güneyi ise daha az yağış aldığından erozyon riski açısından daha düşük seviyelerde yer almaktadır. Son olarak çalışma alanını K faktör değerleri açısından incelediğimizde ise Sivas'tan başlayarak Jips (alçı taşı) olan arazileri çözerek aşındıran Kızılırmak nehri, genel olarak bitki örtüsünden yoksun olan kireçli ve kestane renkli toprakları daha kolay aşındırabilmektedir.

Kızılırmak Havzası'nda meydana gelen toprak erozyonunun üzerinde bulunan barajlara taşınan sediment miktarından dolayı meydana gelecek olan siltasyon açısından da önem arz etmektedir. Yeterli ve gerekli önlemler alınmadığı takdirde barajların ömürlerinin gün geçtikçe kısaldığı da elde edilen sonuçlardan çıkarılan bir durumdur. Nitekim daha sonradan yapılacak olan baraj temizliği maliyetlerinin, daha önceden alınabilecek olan önlemler ve yapılacak planlama faaliyetlerinden fazla olabileceği ortaya çıkmaktadır.

Sonuç olarak çalışmada da görüldüğü üzere belirli bir planlama ve iyileştirme yapılmadığı takdirde, şuan toprak erozyonu ile ilgili var olan problem durumlarının gelecekte de karşımıza benzer problemleri getireceği ortadadır. Aksi takdirde arazi kullanım özelliklerinde pek bir değişikliğin olmaması sürece erozyona uğrayan toprak miktarını azaltmak ve erozyona engel olmak mümkün değildir (Ellis, 1995). Bu sebeple en azından gelecek dönemlerin Kızılırmak Havzası'ndaki verimli olan toprak örtüsünün toprak erozyonuyla birlikte kaybolmaması adına birtakım koruma uygulamaları yapılmalı ve bu konuda halk bilinçlendirilerek yanlış arazi kullanımlarının önüne geçilmelidir.

Ayrıca çalışma sahasında Tarım ve Orman Bakanlığı bünyesinde yapılmakta olan ağaçlandırma çalışmalarına yöre halkının da destek olması ile ormanlaşma sürecini hızlandıracaktır (Fotoğraf 4). Tarım arazileri, bu alanlarda parsel sınırı, çim şeritleri, bitkisel olarak engeller veya çitler, örtü barındırma veya çim yolları geliştirilebilir. Yine, mera arazilerinde ise, arazi yağış durumuna göre ıslah edilmeli, korumalı otlatma zorunlu hallerde 2-3 yılda bir olmalı ve erozyondan korunmak amacıyla yüksek kabiliyetli otlar kullanılmalıdır. Böylece orta bir maliyetle havzadaki erozyonu kontrol altına alabilmek mümkün olacaktır.



Fotoğraf 4. Kızılırmak Havzası'nda ağaçlandırma çalışmaları (Zara-Hafik Yolu)

Kurak ve yarı-kurak bir alan olan çalışma sahası birçok ekstrem ekolojik koşulun birlikte görüldüğü ekosistemleri barındırmaktadır. Bununla birlikte yanlış arazi kullanımı ve ormansızlaştırma sahada toprak kaybına ve sahanın çölleşme durumunu hızlandırmaktadır. Bu kapsamda bu alanlarda ağaçlandırma çalışmaları yapılmalı ve bu çalışmalar yapılırken saha uygun türler seçilmelidir. Bu çerçevede başvurulacak ilk kaynaklar çevredeki kalıntı ormanlar, ağaç toplulukları, kalıntı ağaç grup ve bireyleri başvurulacak birincil kaynaklar olarak komşu ekosistemlerdeki ağaç türleriyle de ikincil kaynak olarak desteklenebilir (Evans, 2004).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Canlı hayatı için hayati önem taşıyan ve oluşumu uzunca bir süreç alan verimli toprak tabakasının çok kısa bir zaman diliminde ortadan kaldırılması tabiat için büyük bir kayıptır. Bu bakımdan değerlendirildiğinde Kızılırmak Havzası'nda oluşan toprak erozyonu yalnızca havzanın bugün ki doğal dengesini değil gelecek dönemlerde olması gereken doğal dengeyi de riske sokmaktadır. Bu sebeple havzada toprak ile bitki örtüsü arasındaki çevresel dengenin artırılması ve korunması zorunlu bir durumdur. Çalışma alanında meydana gelecek olan toprak erozyonun sonuçları çok yönlü olarak değerlendirilmelidir. İnsanlara, bitkilere ve diğer canlı hayatına etkileri açısından olumsuz durumlar yaşanmaması adına birtakım planlama ve çalışmalar yapılmalıdır.

Çalışma sahasında meydana gelen ve 2050-2070 dönemlerinde oluşabilecek toprak erozyonunu konu alan bu çalışma genel olarak dört aşamada sonuçlandırılmıştır. Bu aşamalar sırasıyla;

- * Güncel dönem toprak kaybının hesaplanması
- * 2050 dönemi toprak kaybının tahmin edilmesi
- * 2070 dönemi toprak kaybının tahmin edilmesi
- * Dönemler arası toprak kaybındaki değişim oranlarının analizi şeklindedir.

Bu aşamalar doğrultusunda çalışma sonuçları analiz edildiğinde dikkat çeken bir durum ise R faktör değerlerindeki genel eğilim ile erozyon sonuç değerleri arasında tezat bir durumun olmasıdır. Dolayısıyla sonuçlara bakıldığında havzanın kuzey kesimini oluşturan Karadeniz bölgesinde R faktör değerleri yağışlardan dolayı çok daha yüksek çıkmaktadır. Fakat RUSLE modeliyle yapılan hesaplamalar sonucu C faktör değerleri hesaplamaya dahil edildiğinden, Karadeniz bölgesinin gür ormanlarla kaplı olması erozyon değerlerini düşürmüştür. Aynı şekilde havzanın İç Anadolu kısmında kalan bölümlerinde ise erozyon değerleri çiplak arazi ve bozkır örtüden dolayı yüksek çıkmıştır.

Havza Corine Arazi Örtü sınıfına göre incelendiğinde de erozyonun şiddeti hakkında çıkarımda bulunmaktadır. Arazinin % 25,49'u sulanamayan ekilebilir alan ve yalnızca %11,27'lik kısmını ormanların oluşturduğu görülmektedir. Özellikle bitki formasyonunun gür ormanlar olduğu bu alanlar nehrin ağız kısmına doğru olan kuzey

kesimlerinde yer almaktadır. Bitki örtüsünün gür olması bu alanlarda erozyon riskini azaltmaktadır. Ancak arazinin büyük çoğunluğu vejetasyon açısından dezavantajlı durum oluşturduğundan dolayı erozyon riskini yüksek olduğu görülmektedir.

Bitki örtüsü açısından arazinin dezavantajlı olmasının yanında buna birde antropojenik faaliyetler eklendiğinde erozyonun hızı daha da şiddetlenmektedir. Yani yanlış arazi kullanımları, bitki örtüsünün tahrip olması gibi insan kaynaklı uygulamalarda erozyona sebep olmaktadır. Bu kapsamda belirli bir düzen içerisinde devam eden erozyonu tamamen yok etmek mümkün değildir. Fakat erozyonun etkisini en aza indirmek mümkündür. Öncelikle çalışma sahasında bulunan yerel halkın erozyon konusunda bilinçlendirilmesi ve bu konuda farkındalık kazanmalarının sağlanması gerekir. Yakacak ihtiyaçlarını karşılamak için veya tarım alanı açmak için doğadaki bitki örtüsünü tahrip etmenin ve aşırı otlatmanın erozyon riskini artırdığı konusunda halkın bilinçlendirilmesi gerekir. Doğru çalışmalar ve yapılacak olan doğru projeksiyonlarla yaşanacak toprak kaybı azaltılabilir ve havza arazilerinden maksimum derece de verim alınabilir.

Genel anlamda Kızılırmak havzasında erozyona maruz kalan alanlar tarım orman ve mera alanları olarak sınıflandırılabilir. Bu alanların erozyona karşı sistemli bir şekilde korunabilmesi için yapılması gerekenler aşağıda sıralanmıştır. Havzada yer alan tarım, orman ve mera arazilerinin kabiliyetlerine uygun olarak kullanılması ve meydana gelen toprak kayıplarının insan faaliyetleri veya doğal süreçler sonucunda bozulmasına engel olmak adına; kültürel, idari, mühendislik veya bitkisel açıdan geliştirilecek toprak koruma proje ve programlarını içeren farklı uygulamalar ortaya koyulmalıdır.

Özellikle çalışma sahasında erozyon risk durumu açısından yüksek riskli olarak tespit edilen bölgelerde sürdürülebilir bir şekilde toprak erozyonunun kontrol altına alınması diğer birçok koruyucu yöntemden daha ön plana çıkmaktadır. Toprak, fiziki olarak yerinde durmadığı takdirde o alanda toprağın ekosistem işlevlerini ve gerekli hizmetleri yerine getirmesi mümkün değildir. Dolayısıyla uygulanan uygun tedbirlerle toprak erozyonu durdurulduğunda toprağın yerine getirmesi gereken fonksiyonel işlevleri getirdiği görülecektir.

Sürekli olarak RUSLE modeli ve çeşit projeksiyon modelleri kullanılarak, Kızılırmak havzası ve çevresinin yıllık olarak meydana gelen toprak kaybı tahmini yapılmalı, hatta buna ek olarak altı aylık ve mevsimlik toprak kayıp tahminleri yapılarak gerekli önlemler alınmalıdır.

Kızılırmak Havzası'nda yer alan meradan bozma tarım arazileri oldukça fazladır. Bu alanların gerekli teşviklerin sağlanması hem toprak erozyonunu engelleme adına hem de yaban hayatı koruma adına oldukça faydalı olacaktır. Çünkü erozyon faaliyetlerin büyük çoğunluğunun mera alanlarında meydana geldiği bilinmektedir.

Diğer bir konu ise gene olarak tarım faaliyetlerin yoğun yapıldığı çalışma sahasında meydana gelen toprak erozyonu ile birlikte tarım uygulamaları sonucu kullanılan gübre ve ilaçlar çözülmekte ve taşınarak su bitim noktalarında suya ve doğaya ciddi derece de zarar vermektedir. Erozyon ile ilgili alınacak önlemlerde bu durumda göz önünde bulundurulmasında fayda olacaktır.

Son olarak bu havza içerisinde özellikle çiftçilik işi ile uğraşan yöre halkının toprakların korunması adına erozyon hakkında film, sunu, radyo veya seminerler ile hem basılı hem de görsel ve işitsel yollarda bilgilendirilmelidir. Bu kapsamda erozyon riski yüksek olan alanlarda bu konuda bilgilendirme yapacak kurslar açılma ve örnek uygulama sahaları oluşturulmalıdır.

KAYNAKÇA

- Anonim. (2013). İklim değışikliği ve erozyon.
<http://WWW:tema.org.tr/Sayfalar/CevreKutuphanesi/Pdf/KuresellIsınma>.
- Arslan, O., Bilgil, A., & Veske, O. (2016). Standart yağış indisi yöntemi ile Kızılırmak Havzası'nın meteorolojik kuraklık analizi. *Niğde üniversitesi mühendislik bilimleri dergisi*, 188-194.
- Aydın, F. (2022). National Vulnerability Wheat's Future: GIS based Crop Climate Suitability Analysis by CHELSA Climate dataset for Wheat in Turkey.
- Balcı, A. N. (1996). Havza amanjman anabilim dalı. *Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü*.
- Başayığıt, L. (2002). Eğirdir gölü havzasında erozyon riskinin saptanması üzerine araştırmalar. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Berberoğlu, S., Çilek, A., Dönmez, C., Erdoğan, M., Ersoy, M., & Akın, A. (2014). İklim değışiminin türkiye'de çevresel risk dağılımına etkisinin konumsal modeller yardımıyla tahmini.
- Berberoğlu, S., Çilek, A., Kirkby, M., Irvine, B., & Dönmez, C. (2020). Spatial and temporal evaluation of soil erosion in Turkey under climate change scenarios using the Pan-European Soil Erosion Risk Assessment (PESERA) model. *Environmental Monitoring and Assessment*, 198, 1-22.
- Borelli, P., Robinson, D., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J., & Alewell, C. (2020). Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). *Proceedings of the National Acedemy of Sciences*.
- Büttner, G., Feranec, J., Jaffrain, G., Mari, L., Maucha, G., & Soukup, T. (2004). The Corine land cover 2000 project. . *Earsel Eproceedings*, 331-346.
- Cebel H., A. S. (2013). Türkiye Büyük Toprak Gruplarının Erozyon Duyarlılık " K " faktörleri. *Toprak Su Dergisi*, 30-45.
- CESM. (2019). *Community earth system model*.
<http://www.cesm.ucar.edu/models/ccsm4.0>. adresinden alındı
- Cürebali, İ. E. (2006). Kızılkeçili Dere Havzasında CBS Tabanlı RUSLE Yöntemiyle Erozyon Analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 115-129.
- Darcy, K., Molnar, K., & Jülien, P. Y. (1998). Estimation of upland erosion using geographical information systems . *Computers and Geosciences*.

- Dengiz, O., & İmamoğlu, A. (2016). Arazi örtüsü değişimi ve erozyon: *TÜCAUM Uluslararası Coğrafya Sempozyumu*.
- Ellis, S. a. (1995). " Soils and Environment".
- Erpul G., Ş. S. (2016). *Türkiye Yağışlarının Önemi ve Yenilenmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği-R faktörü*. içinde Ankara: Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları.
- EVANS, J. v. (2004). Plantation Forestry in the Tropics. *Oxford Universty*, 467.
- Fikir, A. N. (2009). The impacts of Watershed Management on Land Use And Land Cover Dynamics in Eastern Tigray(Ethiopia). *Resour. Conserv. Recycl.*, 192-198.
- Hakan Koç, D. D. (2018). Yukarı Kızılırmak Havzası'nda ırmak sularının tarımda sulama amaçlı kullanım özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Türk Coğrafya Dergisi* 70, 57-70.
- Han, F., Ren, L., Zhang, X., & Li, Z. (2016). The WEPP model application in a small watershed in the loess Plateau. *Plos one*. 11,1-11.
- Hanedar, V. (2005). Dünyada ve Türkiye'de Erozyon.
- Karaş, E., & Oğuz, İ. (2009). Sakarya-Porsuk-Sarısu havzasında CORINE, LEAM ve USLE metodolojilerinin kullanılarak erozyon risk haritalarının hazırlanması. *1.Ulusal Kuraklık ve Çölleşme Sempozyumu*, 106-112.
- Karger, D. N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., . . . Kessler, M. (2017). Climatologies at high resolution for the Earth land surface areas. *Scientific Data*. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>.
- Kılıç, O. M. (2021). Effects of land use and land cover changes on soil erosion in semi-arid regions of Turkey; a case study in Almus Lake watershed. *Carpathian Journal of Earth and Envirolmental Sciences*, 129-138.
- Kılıç, O. M. (2022). Yeşilirmak Havzasında İklim Değişim Senaryoları Altında Gelecekteki Sediment Verimi ve Sediment Tutma Kapasitesinin In VEST Model ile Değerlendirilmesi. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1318-1328.
- Kılıç, O. M., & Günal, H. (2021). Spatial-temporal changes in rainfall erosivity in Turkey using CMIP5 global climate change scenario. *Arabian Journal of Geosciences*.

- Kızılırmak nehri üzerinde bulunan barajlar.* (2021, 11 12). Enerji atlası:
<https://www.enerjiatlası.com/akarsular/kizilirmak.html> adresinden alındı
- Laflen, J., & Flanagan, D. (2013). ABD'de toprak erozyonu tahmini ve modellemesinin geliştirilmesi. *International Soil and Water Conservation Research*, 1-11.
- Lane, L. R. (1992). Development and Application of Modern Soil Erosion Prediction Technology the USDA Experience. *Soil and Water*. içinde
- Lane, L., Renard, K., & Laflen, J. (1992). Modern toprak erozyonu tahmin teknolojisinin geliştirilmesi ve uygulanması. *USDA experience Soil Research*, 893-912.
- Lee, S. (2003). Soil erosion assessment and its verification using the universal loss equation and geographic information system. *Korea Environmental Geology*.
- Lu, D. L. (2004). "Mapping Soil Erosion Risk in Rondonia Brazilian Amazonia: using RUSLE". *Remote sensing and GIS, Land Degrad Dev.*, 499-512.
- Mater, B. (1998). Toprak Coğrafyası. İstanbul: Çantay Kitabevi.
- Millward, A. A. (1999). Adapting the RUSLE to Model Soil Erosion Potential in a Mountainous Tropical Watershed. 109-129.
- Öno, B., Ünal, Y. S., & Dalfes, H. N. (2011). İklim değişimi senaryosunun Türkiye üzerindeki etkilerinin modellenmesi. *İTÜ DERGİSİ*, 5.
- Özden, Ş., & Özden, M. (1997). Türkiye Toprak Erozyon Tahmin Modeli.
- Parysow, P., Wang, e., Gertner, A. B., & Anderson. (2003). Spatial uncertainty analysis for mapping soil erodibility based on joint sequential simulation. ., 53,65-78.
- Tarım ve Orman Bakanlığı, B. (2019). *Kızılırmak havzası taşkın yönetim planı*. Ankara.
- Toy T.J., F. G. (1999). "RUSLE for Mining Construction and Reclamation Lands". *Journal of Soil and Water Conservation*, 462-467.
- Türkeş, M. (2008). Küresel İklim Değişikliği Nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler. İklim değişikliği ve çevre. 45-64.
- Üstün, B. (2001). Işıklar dağı çevresindeki toprak erozyonunun coğrafi bilgi sistemi ile modellenmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul*.
- Wang, G., Gertner, G., Liu, X., & Anderson, A. (2001). Uncertainty assessment of soil erodibility factor for revised universal soil loss equation United States Department of Agricultural Handbook . CATENA.

- William B Sutton, K. B. (2014). Amerika Birleşik Devletlerinin Kuzeydoğusundaki Koruma Öncelikli Semender Türlerinin İklimsel Nişinde ve İklim Sığınaklarında Öngörülen Değişiklikler. *Ormanlar 6 (1)*, 1-26.
- Yıldırım, Ü., & Erkal, T. (2009). RUSLE yöntemi ile Afyon ovasının batı kesiminin erozyon risk tahmini. *BAB 07.FENET.06 Nolu Proje Final Raporu*. Afyonkarahisar.
- Yılman FE, O. M. (2006). Determining relationship of RUSLE-R factor with total annual rainfall. "Soil Sustaining Life on Earth, Managing Soil and Technology", 402-409.
- Yılmaz, E. (2006). Çamlıdere baraj havzasında erozyon problemi ve risk analizi. *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*. Ankara.
- Zeng, C., Wang, S., Bai, X., Li, Y., Tian, Y., Wu, L., & Luo, G. (2017). Soil erosion evolution and spatial correlation analysis in a typical karst geomorphology using RUSLE with GIS. *Solid Earth*, <https://doi.org/10.5194/se-8-721-2017>., 8,721-736.