

**T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**ARTVİN'İN HOPA DERESİ HAVZASINDA ICONA MODELİ
YARDIMIYLA GÜNCEL EROZYON RİSK DURUMUNUN
BELİRLENMESİ VE BUNUN HAVZANIN GENEL MORFOLOJİK
ÖZELLİKLERİYLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve KASAP

**Danışman
Prof. Dr. Mehmet ÖZALP**

AĞUSTOS, 2025

BİLİMSEL ETİK BEYANNAMESİ

Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne Yüksek Lisans Tezi / olarak sunduğum “Artvin’in Hopa Deresi Havzasında ICONA Modeli Yardımıyla Güncel Erozyon Risk Durumunun Belirlenmesi ve Bunun Havzanın Genel Morfolojik Özellikleriyle İlişkilendirilmesi” başlıklı bu çalışmayı

☒ Baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Mehmet ÖZALP ’in sorumluluğunda tamamladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metin içerisinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı taahhüt ederim.

☒ Turnitin benzerlik programından alınmış olan özgünlük raporuna göre tezin benzerlik oranının % 15 olduğunu beyan ederim.

Aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Lisansüstü Eğitim-Öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

☒ Tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.

☐ Tezim sadece Artvin Çoruh Üniversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.

☐ Tezimin ... ay süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.

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

Merve Kasap

ORCID NO: 0000-0003-4615-8236

İmza

T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ARTVİN'İN HOPA DERESİ HAVZASINDA ICONA MODELİ YARDIMIYLA
GÜNCEL EROZYON RİSK DURUMUNUN BELİRLENMESİ VE BUNUN
HAVZANIN GENEL MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİYLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ

Merve KASAP
ORCID NO: 0000-0003-4615-8236

Başkan : Prof. Dr. Mehmet ÖZALP

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Mustafa TÜFEKÇİOĞLU

Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Saim YILDIRIMER

ONAY:

Bu Yüksek Lisans tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından 04/09/2025 tarihinde oybirliği ile uygun görülmüş ve kabul edilmiştir.

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

Prof. Dr. Kerem COŞKUN

Enstitü Müdürü

ÖN SÖZ

“Artvin'in Hopa Deresi Havzasında ICONA Modeli Yardımıyla Güncel Erozyon Risk Durumunun Belirlenmesi ve Bunun Havzanın Genel Morfolojik Özellikleri ile İlişkilendirilmesi” başlıklı bu çalışma; Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Tezimde yürüttüğüm bu araştırma konusu için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan akademik danışmanım, değerli hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet ÖZALP’a teşekkür ederim. Ayrıca tezimin savunma sınavında jüri üyesi olarak bulunan ve hem sınav sırasında hem de sonrasında önerdikleri düzeltmelerle çalışmamın daha da bilimsel bir temele oturmasında katkıları olan Sayın Hocalarım Prof. Dr. Mustafa TÜFEKÇİOĞLU ve Dr. Öğr. Üyesi Saim YILDIRIMER'e de teşekkür ederim.

Son olarak tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyerek her zaman yanımda olan sevgili aileme ve tez sürecim boyunca bana destek olan eşime teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Merve Kasap

Artvin – 2025

İÇİNDEKİLER

KISALTMA DİZİNİ	VII
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
TABLO LİSTESİ.....	X
ÖZET	XI
ABSTRACT	XIII
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Taraması	4
2 MATERYAL ve YÖNTEM	11
2.1 Materyal	11
2.1.1 Çalışma Alanı	11
2.2 Yöntem	13
2.3 Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) (Digital Elevation Model)	15
2.4 Su Akış İstikameti ve Akış Toplamı (Water Flow Direction and Flow Accumulation)	16
2.5 Havza Sınırları (Watershed Boundaries)	18
2.6 Bakı (Yöney) Dağılımı (Aspect Distribution)	25
2.7 Eğim Özellikleri (Slope Features).....	25
2.8 Drenaj Ağı (Drainage Route)	26
2.9 Ana Akarsu Uzunluğu (L).....	27
2.10 Maksimum Havza Genişliği (Lb) ve Havza Uzunluğu (La).....	29
2.11 Drenaj Yoğunluğu.....	30
2.12 ICONA Modeli Yardımıyla Erozyon Risk Durumunun Belirlenmesi.....	30
2.12.1 Eğim	31
2.12.2 Jeoloji	34
2.12.3 Toprak Aşınımı.....	36
2.12.4 Arazi Kullanımı	38
2.12.5 Vejetasyon Örtüsü	40
2.12.6 Toprak Koruma	42
3 BULGULAR ve TARTIŞMA	45
3.1 Hopa Deresi Havzasının Bazı Morfolojik Özellikleri	45
3.1.1 Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) (Digital Elevation Model).....	45

3.1.2 Su Akış İstikameti ve Akış Toplamı (Water Flow Direction and Flow Count)	46
3.1.3 Havza Sınırları (Watershed Boundaries).....	46
3.1.4 Bakı (Yöney) Dağılımı (Aspect Distribution).....	47
3.1.5 Eğim Özellikleri (Slope Features).....	48
3.1.6 Drenaj Güzergâhı (Drainage Route).....	51
3.2 Hopa Deresi Havzasının Erozyon Risk Durumu	52
3.2.1 Erozyon Risk Haritası	52
Erozyon Risk Durumuyla Bağlantılı Yaşanabilecek Olumsuzluklar	56
4 SONUÇ VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR.....	67



KISALTMA DİZİNİ

ASTER	Gelişmiş Uzay Yolu Işıl Emisyon ve Yansıma Radyometresi (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
DEM	Sayısal Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model)
ESRİ	Environmental Systems Research Institute (Çevre Sistemleri Araştırma Enstitüsü)
GDEM	Küresel Sayısal Yükseklik Modeli (Global Digital Elevation Model)
HDH	Hopa Dere Havzası
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi)
SAM	Sayısal Arazi Modeli
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
UA	Uzaktan Algılama
USGS	Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (United States Geological Survey)

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1. Hopa Deresi Havzasının Coğrafi Konumu, Sınırları ve Yükselti Kademeleri .	12
Şekil 2. Hopa’da Son 30 Yılda Ortalama Sıcaklık ve Yağış Dağılımı (URL-4).....	13
Şekil 3. USGS arayüzünde SYM verisi arama ekranı.....	15
Şekil 4. SYM verisinin Hopa Deresi Havzasını kapsayan paftası.....	15
Şekil 5. USGS’ten indirilen ve ArcGIS ortamına aktarılan SYM verisi.....	16
Şekil 6. Su Akış İstikameti (Flow Direction).....	17
Şekil 7. Su Akış İstikameti Lejant Değerleri Kodları	17
Şekil 8. Hopa Deresi Havzası İçin Su Akış Toplamı (Flow Accumulation).....	18
Şekil 9. Havza Sınırlarını Belirlemede Kullanılan İş Akışı Şeması.....	19
Şekil 10. ArcMap Üzerinde USGS’ten İndirilen SYM Verisi	20
Şekil 11. ArcGIS Ortamında Fill Komutuyla Çukur Alanlar (Sink) Giderilmiş SYM Verisi	20
Şekil 12. Hopa Deresi Havzası İçin Akış Yönü (Flow Direction) Haritası.....	21
Şekil 13. Hopa Deresi Havzası İçin Su Akış Toplamı (Flow Accumulation) Haritası	21
Şekil 14. Flow Accumulation verisine eşik değeri uygulanması	22
Şekil 15. Raster Calculator Komutuyla Elde Edilen Drenaj Yoğunluğu Haritası.....	22
Şekil 16. ArcMap Stream Link Komutu İle Akış Yönleri Belirlenmesi	23
Şekil 17. Watershed Aracı İle Seçilen Çıkış Noktasına Göre Hopa Deresi Havzasının Sınırlandırılması.....	23
Şekil 18. ArcMap Raster to Polygon Komutu ile Havza Raster’ı Vektör Veriye Dönüştürme.....	24
Şekil 19. ArcMap Extract by Mask Komutu ile Dem Verisinin İçinde Havza Alanını Çıkarma.....	24
Şekil 20. Hopa Deresi Havzasının Sınırları.....	25
Şekil 21 Hopa Deresi Havzası Drenaj Ağı	27

Şekil 22. Hopa Deresi Havzası Ana Anakarsu Uzunluğu Ölçümü	28
Şekil 23. Hopa Deresi Ana Akarsu Haritası.....	28
Şekil 24. Hopa Deresi Havzası Maksimum Uzunluk ve Genişlik Haritası	29
Şekil 25. ICONA Erozyon Riski Belirleme Akış Şeması	31
Şekil 26. Hopa Deresi Havzası Eğim Haritası.....	32
Şekil 27. Hopa Deresi Havzası Jeoloji Haritası.....	34
Şekil 28. Hopa Deresi Havzası Toprak Aşınımı Haritası.....	37
Şekil 29. Hopa Deresi Havzası Arazi Kullanımı Haritası	39
Şekil 30. Hopa Deresi Havzası Vejetasyon Haritası	41
Şekil 31. Hopa Deresi Havzası Toprak Koruma Haritası.....	43
Şekil 32. Hopa Deresi SYM Haritası.....	46
Şekil 33. Hopa Dere Havzası Bakı Haritası	47
Şekil 34. Hopa Deresi Havzası Eğim Haritası.....	49
Şekil 35. Hopa İlçesindeki Eğimli Yamaçlarda Yapılan Çay Tarımından Bir Görünüm	50
Şekil 36. Hopa Deresi Havzası Dere Ağı Haritası.....	51
Şekil 37. Hopa Deresi Havzasında Erozyon Risk Durumu Dağılım Haritası	52
Şekil 38. Dere Yatakları İçinde/Yakınında Yapılan Hatalı Yapılaşma ve Ulaşım Yolu (Borçka, Artvin).....	54
Şekil 39. Cankurtaran Geçidinden Hopa Deresi Havzasının Orta Bölümlerine Bakış	56
Şekil 40. 22-24 Ağustos 2015 tarihlerinde Karadeniz Sahil Yolunu da Etkileyen Taşkın	58
Şekil 41. Hopa Tır Parkında Ağustos 2015'te Meydana Gelen Taşkın Sonrası Görüntü	59
Şekil 42. 22-24 Ağustos 2015 Tarihlerinde Meydana Gelen Taşkın (Borçka).....	60
Şekil 43. 24 Eylül 2009'da Meydana Gelen Heyelan (Düzköy-Borçka).....	61
Şekil 44. Türkiye Geneli Meteorolojik Afet Dağılım Grafiği (1940-2021)	62

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Eğim Haritasının Alansal Dağılımı.....	33
Tablo 2. Jeoloji Haritasının Alansal Dağılımı	36
Tablo 3. Toprak Aşınım Haritasının Alansal Dağılımı.....	38
Tablo 4. Arazi Kullanım Haritasının Alansal Dağılımı	39
Tablo 5. Vejetasyon Örtüsü Haritasının Alansal Dağılımı	42
Tablo 6 . Toprak Koruma Haritasının Alansal Dağılımı	44
Tablo 7. Hopa Deresi Havzası Eğim Sınıfları Alan Dağılımı	49
Tablo 8. Erozyon Risk Haritasının Alansal Dağılımı	53

Artvin'in Hopa Deresi Havzasında ICONA Modeli Yardımıyla Güncel Erozyon Risk Durumunun Belirlenmesi ve Bunun Havzanın Genel Morfolojik Özellikleriyle İlişkilendirilmesi

Merve Kasap

Bu tez çalışmasında; Artvin ili Hopa ilçesinde yer alan Hopa Deresi Havzası'nın (HDH) hidromorfolojik özellikleri Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla belirlenmiş ve ICONA modeli kullanılarak havzanın güncel erozyon risk durumu değerlendirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, morfolojik yapı ile erozyon riski arasındaki neden-sonuç ilişkisini ortaya koymak ve bu kapsamda havzanın fiziksel özellikleriyle erozyona hassas alanlarını haritalamaktır. Havzanın morfolojik analizleri için Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu'na (USGS) ait EarthExplorer platformu üzerinden temin edilmiştir. Bu modelden faydalanılarak havzanın sınırları, su akış yönü ve akış birikimi, bakı (yöney), eğim sınıfları ve drenaj ağı gibi temel morfolojik öznitelikler CBS ortamında analiz edilmiş ve ilgili tematik haritalar üretilmiştir. Erozyon risk analizi kapsamında; eğim, jeolojik yapı, toprak koruma durumu, arazi örtüsü ve arazi kullanımı gibi parametreler ICONA modeline entegre edilmiştir. Arazi örtüsü verileri Artvin Orman Bölge Müdürlüğü'ne ait meşcere haritalarından, arazi kullanımı ise CORINE 2018 verilerinden elde edilmiştir. Söz konusu katmanların çakıştırılması ile HDH için potansiyel toprak erozyonu riski haritası oluşturulmuştur. Analiz sonuçlarına göre; havzanın deniz seviyesinden yaklaşık 1868 metre yüksekliğe kadar ulaştığı, hâkim bakının kuzey yönünde olduğu (%35), %20 eğimin üzerindeki alanların havza genelinin %87,5'ini oluşturduğu ve ana drenaj kolu olan Hopa Deresi'nin doğu-batı doğrultusunda aktığı belirlenmiştir. ICONA modelinden elde edilen erozyon risk haritası, HDH'nin ağırlıklı olarak “orta” ve “yüksek” erozyon risk sınıflarında yer

aldığını göstermektedir. Elde edilen erozyon risk haritası ile arazi kullanım verilerinin çakıştırılması sonucunda, yüksek erozyon potansiyeli taşıyan alanların çoğunlukla yüksek eğimli ve yüksek rakımlı yamaçlarda yer aldığı ve bu alanların orman örtüsünden çay tarımına dönüştürüldüğü bölgelerle çakıştığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidromorfolojik özellikler; ICONA modeli; Erozyon risk durumu; Arazi kullanım değişimi; Hopa Deresi



ABSTRACT

Determining the Current Erosion Risk Status in Artvin's Hopa Stream Catchment with the Help of the ICONA Model and Relating to the General Morphological Characteristics of the Catchment.

Merve Kasap

In this research, the hydromorphological characteristics of the Hopa Stream Catchment (HSC), located in the Hopa district of Artvin province, were determined using Geographic Information Systems (GIS), and the current erosion risk status of the catchment was assessed using the ICONA model. The primary objective of the study was to reveal the cause-and-effect relationship between morphological structure and erosion risk, and to map the catchment's physical characteristics and erosion-prone areas. A Digital Elevation Model (DEM) was obtained from the Earth Explorer platform of the United States Geological Survey (USGS) for the morphological analysis of the catchment. Using this model, basic morphological attributes such as catchment boundaries, water flow direction and accumulation, aspect, slope classes, and drainage network were analyzed in a GIS environment, and the relevant thematic maps were produced. As part of the erosion risk analysis, parameters such as slope, geological structure, soil protection status, land cover, and land use were integrated into the ICONA model. Land cover data were obtained from stand maps of the Artvin Regional Directorate of Forestry, and land use data from CORINE 2018. By overlaying these layers, a potential soil erosion risk map for the catchment was created. According to the analysis results, it was determined that the catchment reaches an altitude of approximately 1858 meters above sea level, the dominant aspect is facing north (35%), the areas above 20% slope constitute 87.5% of the catchment and the main drainage branch, Hopa Creek, flows in the east-west direction. The erosion risk map derived from the ICONA model shows that catchment is predominantly in the "medium" and "high" erosion risk classes. Overlaying the resulting erosion risk map with

land use data revealed that areas with high erosion potential are mostly located on steep slopes and high altitudes, and these areas overlap with areas where forest cover has been converted to tea cultivation.

Keywords: Hydromorphological characteristics; ICONA model; Erosion risk status; Land use change; Hopa Stream



Havza kelimesi en basit tanımı ile sınırları olan coğrafi bir alanı ifade etmektedir. Literatürde tarım havzaları, maden havzaları, baraj havzaları vb. kullanımları mevcut olsa da ağırlıklı olarak akarsu/nehir/dere havzaları, yağış havzaları veya ormanlık havzalar olarak kullanıldıkları görülmektedir. Bu çalışmada, üzerinde araştırma yapılacak yağış havzası ise topografik yapının sonucu olarak, yağış sularının depolandığı, boşaldığı doğal coğrafi sınırlarla yüzeysel akışa geçen suların bir mecrada toplandığı (su toplama alanı) ve bu olayların etki alanı içerisinde kalan sahaların tamamı olarak tanımlanabilir. Bu tip dere/nehir havzaları açık ve kapalı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Açık havzalar, yağışlar sonucu oluşan sularını denizlere/okyanuslara kadar ulaştırabilirken, kapalı havzalar ise sınırları içerisinde ürettikleri suları denizlere kadar ulaştıramadan kuruyan veya tüm sularını bir göle döken havzalardır. Havza Yönetimi bilim dalı kapsamında çalışılan ana konulardan biri olan ”havza morfolojisi” kavramı ise genel bağlamda havzanın fiziksel şeklini, genel yapısını ve arazi/yüzey özelliklerini incelemeyi kapsamaktadır. Burada konu edilen morfoloji, Yunanca kökenli bir kelime olup şekil anlamına gelen “morfo” ve bir bilim alanını ifade eden “loji” kelimelerinin birleşiminden oluşmaktadır (Goudie, 2014, Kütükçü 2016) Farklı fiziksel koşulların etkisiyle, her bir dere havzası kendisine özgü morfolojik özellikler sergiler. Ayrıca, dere havzaları, zamanla meydana gelen doğal ve/veya insan kaynaklı faaliyetler sonucunda çeşitli değişikliklere uğrar (örn:arazi kullanımına bağlı tahribatlar/dönüşümler, bozulmalar) ve sonucunda da havzanın bazı morfolojik özelliklerinde de zamanla farklılaşmalar ortaya çıkabilir. Bu nedenle, havzaların morfolojik özelliklerinin belirli zaman aralıkları ile yeniden belirlenmesi ve varsa olumsuz değişimlerin tespit edilerek gerekli önlemlerin alınması önem arz etmektedir.

Dere havzalarında meydana gelen bu ve benzeri tahribat ve değişimler, zamanla değişen morfolojik özelliklere bağlı olarak toprak erozyonu sorununun ya başlamasına ya da daha

şiddetli seviyelere ulaşmasına neden olabilirler. Bilindiği üzere, erozyon süreci ile kaybolan topraklar hem doğanın hem de insanlığın sürdürülebilir yaşam döngüsünü sekteye uğratabilmektedir. Erozyon toprağın çeşitli nedenlerle zamanla aşınması ve havzada bulunduğu konumdan başka yerlere taşınmasıdır. Arazinin eğimi, toprağın yapısı, bitki örtüsü, yıllık yağış miktarı, iklim faktörleri, insanların toprağa ve bitkiye yaptığı çeşitli müdahaleler erozyonun şiddetini ve zamanını etkiler.

Türkiye’de ise her yıl toprak erozyonu sonucu 642 milyon ton toprağın yer değiştirdiği hesaplanmıştır ki diğer bir ifade ile bu, yıllık toprak kaybının yaklaşık 8.24 ha ton-1 olduğunu göstermektedir (Erpul vd., 2020). Türkiye dünya ortalamasının (24 milyar ton) altında bir toprak kaybına sahipken ortalaması 2.46 ha ton-1 olan Avrupa Birliği’nin (Panagos vd., 2015) üstündedir. Yine de kaybedilebilir toprak kaybı göz önünde bulundurulduğunda Türkiye’nin %20,6’sı orta, yüksek, çok yüksek risk grubundadır (Erpul vd., 2018). Türkiye’de erozyon olaylarının sık yaşandığı illerden bir tanesi de Artvin’dir ki bunun en önemli nedenlerinin başında ilin çok eğimli bir coğrafik yapıya ve özellikle Doğu Karadeniz Havzası sınırlarında bulunan Hopa, Arhavi ve kısmen de Borçka ilçelerinin yüksek yağışlara sahip olmalarıdır (Çetinkaya, 2020). Buradan yola çıkarak dere havzalarının değişen morfolojik özellikleri ile sahip oldukları toprak erozyon risk durumunun düzenli aralıklarla, hızlı ve güvenilir/uygulanabilir modellerle tespit edilmesi söz konusu havzalardaki doğal yaşamın devamı ile insanların yaşam alanlarının daha güvenli olmasına yönelik tedbirlerin alınması ve planlamaların yapılması bakımından önemlidir (Özhan, 2004)

Günümüzde dere havzalarında yapılan çalışmalarda elde edilen morfolojik özelliklere dair verilerin hem toplanması hem de sayısal olarak depolanması için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) oldukça sık kullanılan bir arayüz olarak kullanılmaktadır (Özhan, 2004)

CBS, konum bilgisi içeren verilerin bilgisayar ortamında saklanması, görselleştirilmesi ve sorgulanması işlevlerini sağlayan sistemlerin bütünüdür. Bu yöntemde eş yükselti eğrileri ile oluşturulan haritalar ve temsil ettikleri yükseklik değerleri, bilgisayar yardımıyla sayısal ortama aktarılmaktadır. Bu dosyalar tüm harita yüzeyini kapsayan grid noktalarına dönüştürülmektedir. Grid noktaları, eşit aralıklı kareler biçiminde ve bulundukları koordinatın yükseklik değerlerini içeren yapılardır. Bu grid yapısı Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) olarak adlandırılmaktadır (Özhan, 2004)

Sayısal yükseklik modelleri (Digital Elevation Model-DEM); yeryüzünün ve/veya yeryüzü üzerinde yer alan doğal/beşerî tüm objelerin konum ve yükseklik bilgilerinin kullanılarak üç boyutlu olarak üretilen bir modeldir

Bu çalışmada, uydu verilerinden elde edilen Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) kullanılarak Hopa Deresi Havzası'nın (HDH) morfolojik özellikleri ortaya konmuştur. Türkiye geneline ait SYM verileri, Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu'nun (USGS) internet sitesinden elde edilmiştir. Temin edilen SYM verileri ArcGIS yazılımı aracılığıyla analiz edilmiştir. Hopa Deresi Havzasının (HDH) eğimli bir yapıya sahip olmasıyla birlikte yağışı fazla almasına bağlı olarak çeşitli afetlere sebebiyet vermektedir. Zamanla arazinin yanlış kullanımı ve çeşitli sebeplerle bölgede çeşitli zamanlarda farklı afetler meydana gelmiştir. Bu durumları belirlemek öngörmek çeşitli müdahalelerde bulunmak ve önlem almak gerekmektedir. Bu afetlerden biriside erozyondur. Toprak erozyonunun başta ekonomi ve çevre olmak üzere çok yönlü bir etkisi bulunmaktadır (Crowder, 1987; Vanacker vd., 2003). Toprak erozyonu sadece tarım arazilerini bozulması ve besin yönünden daha zengin yüzey toprağının taşınmasının yanında sel, barajların dolması, kirlilik, ağır metal, altyapı ve üst yapıların zarar görmesine kadar birçok alanda zarara yol açmaktadır (Bai vd., 2020; Cheng vd., 2021; Crowder, 1987; Saygın vd., 2014). Ayrıca çalışmanın devamında ise ICONA modeli ile HDH'nin erozyon risk durumu belirlenmiştir. ICONA modeli, İspanya Doğa Koruma Enstitüsü tarafından geliştirilen ve havza bazında erozyon risk düzeylerinin tahmin edilebildiği nitel karar matrislerine dayalı bir modeldir ve nitel veri analizi ile karar verme sürecine katkıda bulunur (MAPA/ICONA, 1983). Bu model, nitel karar kurallarına dayanarak, erozyon riskini değerlendirirken belirli girdi faktörlerini nitelikler açısından hiyerarşik bir şekilde organize eder. Ayrıca diğer birçok modelin özellikle yerel koşullara göre kapsamlı kalibrasyon gerektirmesi ve her bölge için bazı istatistiki bilgilere ihtiyaç duyması ve uzaktan algılama tabanlı olması ICONA modelinin tercih edilme sebeplerindendir.

Dünyada son zamanlarda özellikle iklim değişikliğinin de etkisiyle ortaya çıkan olumsuz doğa felaketlerinin/olaylarının birçoğu hayatımızı sekteye uğratabilecek sorunlar olarak görülmektedir. Bu yüzden, ekolojik denge süreçlerini de hesaba katarak doğal kaynaklara zarar vermeyecek havza yönetim planlarının oluşturulması gerekmektedir. Burada, özellikle bilimsel verilere dayalı doğru arazi kullanımının sürdürülebilir kalkınma ile

yakından ilişkili olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Diğer bir ifade ile doğal kaynakları korumaya ve gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde (tüketilmeden) kullanımını planlamaya olanak sağlayan bir gelişme süreci olan sürdürülebilir kalkınma, aslında bu amaçlara yönelik bir “planlama” ve “uygulama” yaklaşımıdır. Bu bağlamda, toprağı korumak ve kullanımını planlamak için arazi kullanım planlarının hazırlanması hayati önem taşımaktadır

Yukarıdaki açıklamalar ışığında, bu tez çalışmasının iki ana amacı bulunmaktadır. Bunlardan ilki, araştırma sahası olarak belirlenen Hopa Deresi Havzasında, ağırlıklı olarak CBS teknikleri kullanılarak havzanın sahip olduğu mevcut morfolojik özelliklerin belirlenmesidir. Böylece, havzanın genel durumu ve özellikleri hakkında bilimsel veriler elde edilecek ve bazı görsel haritalar oluşturulacaktır. İkinci ana amacımız ise elde edilen morfolojik özellikleri de kullanarak ICONA modeli yardımı ile Hopa Deresi Havzasının güncel erozyon risk durumunu ortaya çıkarmaktır. Bu çalışma sonucunda ortaya çıkacak olan erozyon risk haritası ile Hopa Deresi Havzasında hangi mevkilerde toprak erozyon riskinin ciddi boyutlarda olduğu ve nerelerde erozyon kontrol çalışmalarının önceliklendirilmesi gerektiği belirlenmiş olacaktır.

1.1 Literatür Taraması

1.1.1 Havzanın Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

Ödeker (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, ‘Rize ili Çayeli ilçesinde yer alan Sabuncular Deresi Havzası’nın morfometrik özellikleri’ Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla analiz edilmiştir. Çalışmada 1/25.000 ölçekli sayısal topografik haritalardan elde edilen verilerle Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) oluşturulmuş, bu modele dayanarak havza sınırları belirlenmiş ve morfometrik haritalar üretilmiştir. ArcGIS 10.1 yazılımının Spatial Analyst Tools modülü kullanılarak su akış yönleri, drenaj ağı ve havzaya ait temel morfometrik parametreler hesaplanmıştır. Bulgular, havzanın yüksek drenaj yoğunluğu ve dik eğim değerlerine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bölgedeki yoğun yağış ve bitki örtüsüne rağmen toprağın geçirimsiz yapısı nedeniyle yüzeysel akışın baskın olduğu, yer altı sızmasının sınırlı gerçekleştiği vurgulanmıştır. Bu durum, havzada yüzeysel erozyon potansiyelini artırmakta, heyelan ve taşkın gibi afet risklerini yükseltmektedir. Bu tür CBS tabanlı çalışmaların, hem doğruluk ve hız açısından önemli avantajlar sağlamaktadır hem de doğal afet risk analizleri, taşkın yönetim planları, erken

uyarı sistemlerinin kurulması ve yerleşim, tarım, sanayi gibi beşerî faaliyetlerin mekânsal planlaması açısından önemli bir altlık sunduğu vurgulanmaktadır

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), havza morfolojisinin belirlenmesinde etkin bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bu doğrultuda, Yılmaz ve arkadaşları (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Çankırı–Şabanözü havzası örneğinde, ArcGIS yazılımı kullanılarak havzanın morfolojik özellikleri analiz edilmiştir. Araştırmada, CBS yardımıyla elde edilen veriler, Köy Hizmetleri Müdürlüğü’nden temin edilen mevcut morfolojik verilerle karşılaştırılmış ve sonuçların büyük ölçüde örtüştüğü belirlenmiştir. Bu durum, CBS tabanlı yöntemlerin hem zamandan tasarruf sağladığını hem de yüksek doğrulukla morfolojik analiz yapılabildiğini göstermektedir. Çalışma, havza analizlerinde CBS’nin karar destek süreçleri açısından önemli bir araç olabileceğini ortaya koymaktadır.

Kutukcu vd. (2015) tarafından gerçekleştirilen “Nehir Havzalarının Morfolojik Karakteristiklerinin CBS Destekli Nümerik Modeller Kullanılarak Analizi” başlıklı çalışmada, Ege Denizi’ne dökülen Büyük Menderes Havzası çalışma alanı olarak seçilmiştir. Havzanın morfolojik analizinde, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı ArcGIS Desktop yazılımı ve ArcSWAT aracı kullanılarak çeşitli morfometrik parametreler hesaplanmıştır. Elde edilen bulgulara göre, havzanın drenaj yoğunluğunun ve akarsu sıklık değerlerinin düşük olması ile tekstür oranı sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, havza yapısının geçirgen özellikler taşıdığı belirlenmiştir. Bu bulgular, yüzey akışının sınırlı olduğunu ve sızma kapasitesinin yüksek olduğunu bu nedenle yüzey akışının sınırlı kaldığını göstermiştir. Çalışmada ayrıca, Sayısal Arazi Modeli (SAM) verileri ile CBS tekniklerinin entegre kullanımı sayesinde havzanın morfolojik özelliklerinin detaylı biçimde ortaya konulabildiği ve bu yöntemin hidrolojik değerlendirmeler açısından verimli ve uygulanabilir bir yaklaşım sunduğu ifade edilmiştir. Sonuç olarak, Büyük Menderes Havzası’nda yapılan bu değerlendirmelerin diğer havzalarda da uygulanabilir olduğu, ayrıca yeni parametrelerin eklenmesiyle yöntemin daha da geliştirilebileceği önerilmiştir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), geniş alanlarda gerçekleştirilen morfometrik analizlerin hızlı, doğru ve uygulanabilir şekilde yürütülmesini sağlayarak geleneksel yöntemlere kıyasla önemli avantajlar sunmaktadır. Bu çerçevede Çay (2018), CBS Yardımıyla Türkiye’deki Havzaların Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesi başlıklı yüksek lisans

tezinde, Türkiye genelindeki havzaların temel morfolojik parametrelerini uzaktan algılama ve sayısal yükseklik modeli (SYM) verileri kullanarak analiz etmiştir. Çalışmada, kapsamlı sayısal topoğrafik haritaların maliyetli olması ve klasik yöntemlerle büyük ölçekli alanlarda çalışmanın zaman alıcı olması nedeniyle, SYM verilerinin CBS ortamında işlenmesi tercih edilmiştir.

Araştırmada önce havza sınırları tespit edilmiş, ardından her havza için eğim, bakı, yükselti, alansal dağılım ve drenaj ağı gibi morfometrik özellikler çıkarılmıştır. Bu veriler hem hidrolojik hesaplamalar hem de baraj planlaması, taşkın analizi, su kaynaklarının yönetimi gibi çeşitli mühendislik ve çevre planlama süreçlerinde kullanılabilecek niteliktedir. Örneğin, drenaj ağı ve eğim verileri kullanılarak taşkın debisi, akış süresi ve akış yoğunluğu hesaplanabilirken, bakı ve yükseklik verileri ile kar erimesi sonrası oluşacak akış miktarı öngörülebilmektedir.

Çalışmada, tüm bu morfolojik özelliklerin CBS tabanlı analizlerle hızlı ve doğru biçimde elde edilebildiği; ayrıca elde edilen verilerin dijital ortamda saklanarak gelecekte yapılacak çalışmalar için temel bir kaynak işlevi göreceği vurgulanmıştır. Türkiye genelini kapsayan bu geniş ölçekli çalışma, CBS'nin havza bazlı planlama, taşkın yönetimi ve su kaynakları modelleme çalışmalarında vazgeçilmez bir araç haline geldiğini ortaya koymaktadır (Çay, 2018).

Yıldırım vd. (2016) tarafından yapılan 'SRTM ve Topoğrafik Harita Verileri Kullanılarak Artvin İlindeki Yağış Havzalarının Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi' isimli çalışmada yağış havzalarının temel özelliklerinin belirlenmesinde sayısal yükseklik modelleri (SYM) yaygın olarak kullandığını belirterek Çoruh Nehri Havzası örneğinde yapılan çalışmalarda, SYM üretiminde yalnızca topoğrafik haritaların değil, aynı zamanda SRTM verilerinin de etkin biçimde kullanılabileceği ortaya konmuştur. SRTM verileri aracılığıyla eğim, bakı ve yükselti gibi topoğrafik parametreler hızlı, ücretsiz ve erişilebilir şekilde elde edilebilmekte; ayrıca topoğrafik haritalardan türetilen sonuçlarla büyük ölçüde uyum göstermektedir. Nitekim Çoban ve Eker (2009), her iki veri kaynağı arasında %10'un altında hata payı ile örtüşme olduğunu belirtmiştir. Bunun yanı sıra, SRTM verilerinin özellikle CBS tabanlı hidrolojik modelleme ve havza planlaması çalışmalarında zaman ve işgücü açısından önemli avantaj sağladığı vurgulanmaktadır. Ayrıca ArcGIS yazılımına entegre ArcHydro modülünün kullanımı, drenaj ağlarının oluşturulması, havza sınırlarının belirlenmesi ve havza karakteristiklerinin hesaplanması

gibi analizlerde önemli kolaylıklar sunmakta olup, Dindaroğlu vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada da bu modülün havza özelliklerini başarılı bir şekilde temsil ettiği ifade edilmiştir.

Bağdatlı ve Öztürk (2014) çalışmalarında, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) kullanımıyla, havza morfolojik özelliklerinin belirlenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin (CBS) önemli bir rol üstlendiğini ortaya koymuşlardır. Araştırmada örnek olarak seçilen Çorlu Deresi Havzası üzerinden, su akış yönleri ve bu akışlara bağlı olarak gelişen drenaj ağları detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. CBS ortamında gerçekleştirilen hidrolojik analizlerle sayısal topoğrafik haritalar üzerinden havza sınırları ve karakteristik morfolojik parametreler (eğim, akış yönü, yükseklik gibi) yüksek hassasiyetle elde edilmiştir. Bu yöntem sayesinde, klasik yöntemlere kıyasla daha hızlı, daha güvenilir ve kolay yorumlanabilir veriler üretilmiş, araştırmacıların erişimine açık bir altyapı oluşturulmuştur.

Çalışmada, CBS teknolojileri ile oluşturulan SYM'lerin, havza ölçeğindeki tüm çalışmalarda araştırmacılara temel altlık sağlayacağı ve bilgiye erişimdeki zorlukları büyük ölçüde ortadan kaldıracığı vurgulanmaktadır. Özellikle aynı havza üzerinde farklı dönemlerde çalışma yürütecek araştırmacılar için CBS ile hazırlanan modellerin yeniden kullanılabilir ve güncellenebilir olması, yöntemin uzun vadede sürdürülebilirliğini artırmaktadır. Bu bağlamda CBS hem akademik hem de uygulamalı hidrolojik çalışmalar açısından vazgeçilmez bir araç konumundadır.

1.1.2 ICONA Modeli ile Erozyon Riskinin Değerlendirilmesi

Ediş ve arkadaşları (2021), ICONA modeli kullanarak toprak erozyon riskinin değerlendirilmesine yönelik gerçekleştirdikleri çalışmada, Ankara'nın Çubuk ilçesinde yer alan Meşeli Havzası'nı örnek alan olarak incelemişlerdir. Yarı kurak ve kurak iklim bölgelerinde toprak erozyonunun, arazi tahribatının en temel nedenlerinden biri olduğunu vurgulayan araştırmacılar, erozyonun mekânsal dağılımının belirlenmesinin, toprak ve su koruma odaklı planlamalarda kritik bir adım olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmada ICONA modeli kapsamında eğim, jeoloji, arazi kullanımı ve arazi örtüsü katmanları birleştirilerek erozyon duyarlılığı analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Meşeli

Havzası'nın %34,8'lik kısmı çok yüksek ve yüksek erozyon riski sınıfında yer almakta, bu da havzanın önemli ölçüde erozyona duyarlı olduğunu göstermektedir.

Değirmenci (2025) tarafından yapılan 'Uğursuyu Havzası Erozyon Risk Durumundaki Dönemsel Değişimlerin Belirlenmesi' isimli çalışmada, Batı Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Uğursuyu Havzası'ndaki toprak erozyonunun mekânsal ve zamansal değişimini ICONA modeli kullanılarak analiz etmiştir. Çalışmada 2000–2019 yılları arasındaki arazi kullanım değişikliklerinin erozyon riski üzerindeki etkileri değerlendirilmiş, özellikle bitki örtüsü, toprak yapısı ve eğim faktörleri dikkate alınmıştır. Elde edilen bulgulara göre, havzanın yalnızca %15'i %12 ve altında eğime sahipken, %64,5'lik bölümü orta eğimli (%12–35) alanlardan oluşmaktadır. Yüksek eğimli (%35 üzeri) alanlar ise havzanın %20,5'ini kapsamaktadır. Bu durum, havzanın önemli bir kısmının yüksek erozyon riski altında olduğunu ortaya koymakta; arazi kullanım değişikliklerinin bu risk üzerindeki etkisini vurgulamaktadır.

Dengiz, (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, ICONA modeli kullanılarak İnebolu Havzası'nın toprak erozyon riski değerlendirilmiştir. Araştırmada, eğim ve jeoloji katmanları birleştirilerek havza topraklarının aşınabilirlik durumu analiz edilmiş ve potansiyel erozyon tehlikelilik haritası oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, çalışma alanının %34,1'i yüksek, %39,2'si ise çok yüksek erozyon riski taşıyan alanlar olarak sınıflandırılmıştır. Erozyon riskinin en fazla olduğu alanların, bitki örtüsünün bozulduğu mera ve tarım alanlarında yoğunlaştığı belirlenmiştir. Her ne kadar ICONA erozyon risk modeli genel düzeyde bir risk değerlendirmesi sunma kapasitesine sahip olsa da önemli bir sınırlılığı bulunmaktadır. Bu model, çalışma alanına özgü meteorolojik verileri dikkate almamaktadır. Oysa ki, bir alanın toplam yağış miktarı ile birlikte aylık veya günlük maksimum yağış değerleri gibi hidroklimatik parametreler, toprak taşınım süreçlerini doğrudan etkilemekte ve erozyon potansiyelinin belirlenmesinde kritik rol oynamaktadır.

Bilgiç ve Er (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Malatya ilinin erozyon risk durumu ICONA yöntemi ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknikleri kullanılarak analiz edilmiştir. Araştırmada; eğim, litoloji, arazi kullanımı ve bitki örtüsü gibi temel parametreler kullanılarak erozyon duyarlılığı haritası oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında elde edilen bulgulara göre, Malatya ilinin %20,17'si düşük, %64,99'u orta ve %14,19'u çok yüksek erozyon riski taşıyan alanlardan

oluşmaktadır. Ayrıca, eğimin bulunmadığı bazı alanlarda litolojik özelliklerin etkisiyle aşınabilirliğin yüksek seviyede olduğu, bu durumun da söz konusu bölgelerde orta düzeyde erozyon riski oluşturduğu belirlenmiştir. Bu çalışma, ICONA modelinin farklı jeolojik özelliklere sahip alanlarda erozyon riskinin belirlenmesinde etkili bir araç olduğunu ortaya koymaktadır.

(2016) Farris AY Okuou ve arkadaşları 'Etkili toprak ve su yönetimi stratejileri, öncelikli müdahale alanlarını belirlemek için erozyon riskinin bölgesel ölçekte değerlendirilmesini gerektirir.' diyerek Karar desteği için bölgesel erozyon riski haritalaması: Batı Afrika'dan bir vaka çalışması yapmışlar ve bu çalışmada, Atacora Dağı ve çevresinin erozyon risk durumunun CBS ve ICONA modeli kullanılarak değerlendirilmesi ve belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın sonucunda çalışma alanının %21,8'inin çok düşük, %58,5'inin orta ve %19,5'inin yüksek ve çok yüksek erozyon riski seviyelerine sahip olduğu sonucunu elde etmişler.

Arazi bozulması, çağımızın en ciddi küresel çevre sorunlarından biridir (Dregne, 1998, Reynolds ve Stafford Smith, 2002). Arazi kullanım faaliyetleri, dünya çapında arazi bozulmasının temel itici güçleri arasındadır. Bu faaliyetler arazi yüzeyini şekillendirir ve doğal olaylarda önemli değişikliklere yol açabilir (Steffen vd., 2007). İnsan faaliyetleri, birçok çevresel sorunun merkezinde yer almaktadır. Aslında, insanlar ekosistemlere hükmeder, onları dönüştürür ve değiştirir (Zika ve Erb, 2009), ancak bunu genellikle küresel ekolojik kalıp ve süreçlerin pahasına yaparlar.

Karmaşık erozyon modelleri genellikle küçük ölçekli uygulamalar için yeterlidir, ancak Kirkby vd. (1996), Schoorl vd. (2000), Yair ve Raz-Yassif (2004) ve diğerleri tarafından belirtildiği gibi, büyük ölçekli uygulamalar için uygulanabilirliği düşüktür. Üstelik, daha az veri tüketen yöntemler karar vericilere daha çekici gelmektedir (Renschler ve Harbor, 2002). Bayramin ve ark. (2003); ICONA, 1991, ICONA, 1997; Zaz ve Romshoo'ya (2012) göre, ICONA modeli toprak erozyonu riskini değerlendirmek ve haritalamak için en kolay ve esnek nitel yöntemlerden biridir. Bu model, Bayramin ve ark. (2003) tarafından belgelendiği üzere Avrupa Birliği (AB) ülkeleri ve Akdeniz ülkeleri (örneğin Türkiye, Tunus, Suriye ve Mısır) tarafından kullanılmıştır.

Kaya (2013), "Bertiz Deresi Yağış Havzasında Uzaktan Algılama Teknikleri ve ICONA Sınıflandırması Kullanılarak Erozyon Risk Haritasının Oluşturulması" başlıklı yüksek lisans tezinde, ICONA modeli ve uzaktan algılama yöntemlerini kullanarak Bertiz Yağış

Havzası'nda erozyon duyarlılığı analizini gerçekleştirmiştir. Güncel arazi kullanım verilerinin elde edilmesinde 10.08.2009 tarihli Landsat TM uydu görüntüsü kullanılmış; bu veriler doğrultusunda havzanın yaklaşık %62'sinin dik ve çok dik eğimli, %22'sinin ise sarp eğim sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre çalışma alanının %66,5'lik kısmı erozyona şiddetli ve çok şiddetli derecede duyarlı bulunmuş, oluşturulan potansiyel erozyon haritası ise alanın %87,46'sında yüksek düzeyde erozyon riski bulunduğu verileri elde etmişlerdir.

Gündüzoğlu (2018) tarafından gerçekleştirilen “Kıyı Ege Bölümünde Erozyon Riskinin ICONA Yöntemi ile Belirlenmesi” başlıklı çalışmada, Kıyı Ege Bölümü'nde tarım arazilerinin yanlış ve plansız kullanımı sonucunda arazinin doğal verim kapasitesinde ciddi azalmalar meydana geldiği belirtilmiştir. ICONA modeli kullanılarak yapılan analiz sonucunda, çalışma alanının %32'sinin şiddetli ve çok şiddetli, %32'sinin orta şiddetli ve %36'sının az ile çok az şiddetli erozyon riski taşıdığı belirlenmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

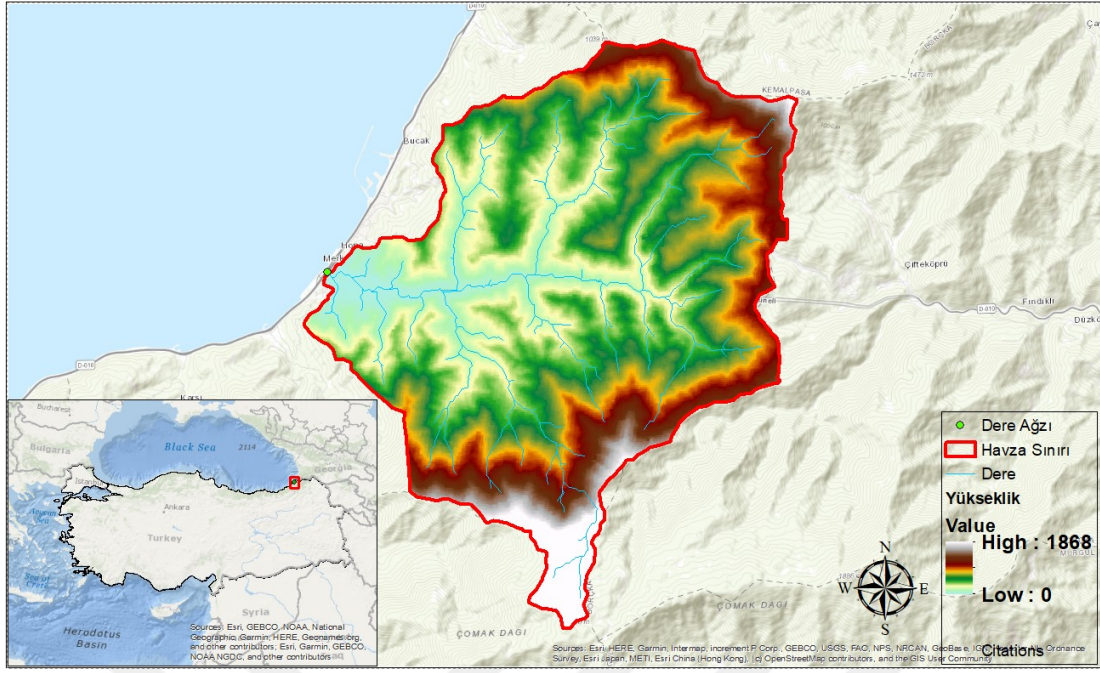
2.1 Materyal

Çalışmanın ilk aşamasında, Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu'nun (USGS) resmi internet sitesinden Hopa ilini kapsayan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verileri temin edilmiştir. Elde edilen veriler, ArcGIS 10.6.1 yazılımı aracılığıyla işlenerek havza sınırları tespit edilmiştir. Belirlenen sınırlar esas alınarak, havzanın temel morfolojik özellikleri ayrıntılı biçimde ortaya konmuştur.

Tez çalışmasının bir diğer amacı olan erozyon risk haritasının belirlenmesine yönelik olarak ise ICONA modeli kullanılmıştır. Ayrıca, ICONA modelinin yürütülmesi için gerekli olan bazı sayısal altlıklar/haritalar da materyal olarak kullanılmıştır. Bunlar arasında HDH'nin güncel meşcere ve jeoloji haritaları önemli yer tutmaktadır.

2.1.1 Çalışma Alanı

Tez çalışmasının araştırma sahası, Türkiye'nin kuzeyinde yer alan Karadeniz Bölgesi'nin Doğu Karadeniz kesiminde, 41°19'–41°23' kuzey enlemleri ile 41°28'–41°32' doğu boylamları arasında konumlanan Artvin iline bağlı Hopa ilçesi sınırları içerisindeki Hopa Deresi Havzası'nı kapsamaktadır.

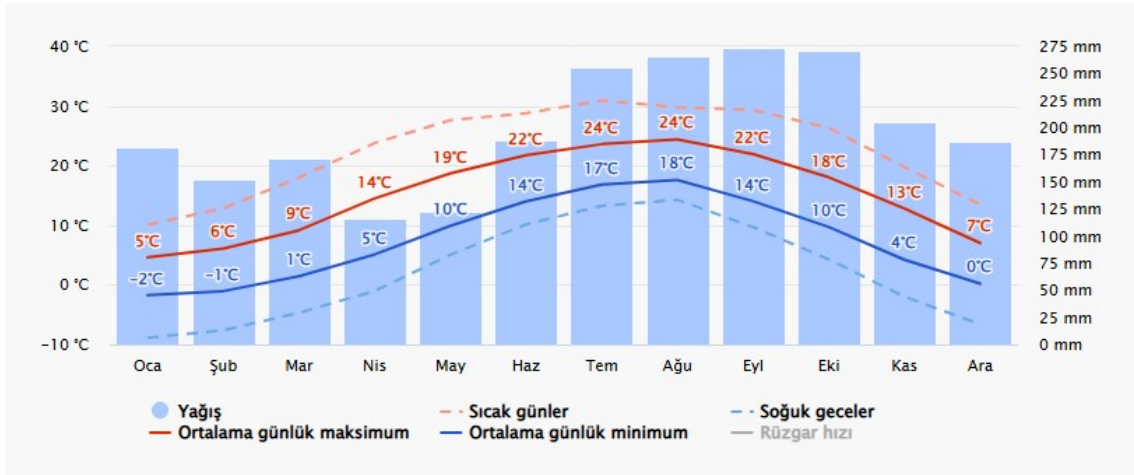


Şekil 1. Hopa Deresi Havzasının Coğrafik Konumu, Sınırları ve Yükselti Kademeleri

Hopa Deresi Havzası, güneybatı-kuzeydoğu yönünde uzanan Balıklı Dağı, kuzeydoğusunda Sultanselim Dağı ve batısında Karadeniz ile çevrilidir. Hopa Deresi ve kollarını içeren bu havza, 74 km²'lik bir alan kaplamakta olup, Hopa İlçesi'nin güneybatısında yer almaktadır. Topografik açıdan dağlık ve engebeli bir yapıya sahiptir. Sahil ile dağlık alanlar arasında dar bir geçiş alanı bulunmakta, Hopa Deresi ve yan kolları gibi akarsular vadileri boydan boya geçerek Karadeniz'e ulaşmaktadır. Yükseklik, deniz seviyesinden başlayarak 1800 metrenin üzerine kadar çıkar.

Hopa, Doğu Karadeniz iklim tipine sahiptir. Bu iklim tipi yıl boyunca yüksek nem ve sürekli yağışla karakterizedir. Yıllık ortalama yağış miktarı 2000 mm'yi bulmakta olup, Türkiye'nin en fazla yağış alan bölgelerindendir. Kışlar ılıman ve yağışlı, yazlar serin ve nemli geçer. Bitki örtüsü zengin olup ormanlık alanlar ve çay bahçeleri yaygındır. Hopa Çayı Havzası'nın coğrafi konumu nedeniyle, kuzeye bakan yamaçlar güneye bakanlara kıyasla daha fazla yağış almaktadır. Bu durum, kuzeye bakan yamaçlarda Hopa Deresi'nin hem daha sık hem de daha yüksek enerjiyle akmasına yol açmaktadır.

Aşağıdaki klimatogram, Hopa ilçesinde yıllık ortalama sıcaklık ve yağış dağılımını göstermektedir.



Şekil 2. Hopa'da Son 30 Yılda Ortalama Sıcaklık ve Yağış Dağılımı (URL-4)

Hopa Deresi Havzasının litolojik özellikleri incelendiğinde, topografyanın ağırlıklı olarak volkanitler ve sedimanter kayalardan oluştuğu görülmektedir. Araştırma sahasındaki en eski jeolojik birimi ise ayrılmamış Üst Kretase volkanitleri oluşturmaktadır (Şenel, 2002). Volkanitlerin egemen olduğu bu topoğrafyada, başlıca litolojik bileşenler bazalt, andezit ve piroklastlardan oluşmaktadır. Her ne kadar bu kayalar dayanıklı yapıda olsa da, Karadeniz ikliminin nemli havası kimyasal ayrışma için elverişli bir ortam oluşturduğundan, ayrışmaya yatkındırlar. Araştırma alanının bir akarsu havzası olduğu göz önünde bulundurulduğunda, andezitin fenokristal yapısı ile kalsiyum açısından zengin feldspat içeriği suyla tepkimeye girerek kayada çözünmeye neden olmaktadır (Kurter, 1975). Az miktarda da olsa bazaltın bünyesinde bulunan plajiyoklaz, su ile tepkimeye girdiğinde ayrışmayı hızlandıran bir unsur olarak rol oynar. Küçük kristal boyutuna sahip olması, bazaltın dayanıklı bir kayanın olmasına karşın iklimsel etkilere karşı yavaş bir şekilde direnmesini sağlar. Ayrışma sürecinde önce feldspatlar bozulur ve kimyasal ayrışmanın etkisi ölçüsünde kayanın çözünür (Kurter, 1975). İklimsel etkiler sonucu ayrılan magmatik kayalar, çalışma alanının regolitlerden oluşan bir ayrışma örtüsü ile kaplanmasına neden olmuştur. Bu gevşek yapıli örtü, zemini kütle hareketlerine elverişli hale getirmektedir (Turoğlu, 2015).

2.2 Yöntem

Çalışmada yöntem olarak, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama teknolojileri kullanılmıştır. Günümüzde havzalara ait tüm verilerin toplanmasında, sayısal ortamda

depolanmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılmaktadır. CBS, içeriğinde konum bilgisi bulunan verilerin bilgisayar ortamında depolanması, görüntülenmesi ve sorgulanması fonksiyonlarını yerine getiren araçların tümüdür.

Çalışmanın ilk aşamasında, Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu'nun (USGS) “www.earthexplorer.usgs.gov” adresindeki internet sitesinden SYM verilerine ulaşılmıştır. Ardından, söz konusu siteden ASTER GDEM verileri arasından Hopa Deresini kapsayan tek paftalık bir SYM görüntü verisi indirilmiştir. Bu SYM verisinde yer alan her bir hücre, kenar uzunluğu 30 metre olan kare biçimindeki bir arazi parçasının yükseltisini ifade etmektedir.

Çalışma alanına ait sayısal arazi modelleri (ESRI) ArcGIS10.6.1 sürümünde ArcMap 10.6.1 ve Arccatalog 10.6.1 programlarıyla yürütülmüştür.

ArcGIS ortamında çalışılırken, ArcMap ana bileşeninde Arctoolbox modülü kullanılarak projeksiyon *UTM 37N – European Datum 1950* seçilmiştir. ArcGIS’e aktarılan ham veri üzerine (DEM verileri) çıkış noktası koordinatları girilerek havza sınırları belirlenmiş SYM verileri üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda havza sınırları belirlenmiş ve morfolojik özellikleri ortaya konmuştur.

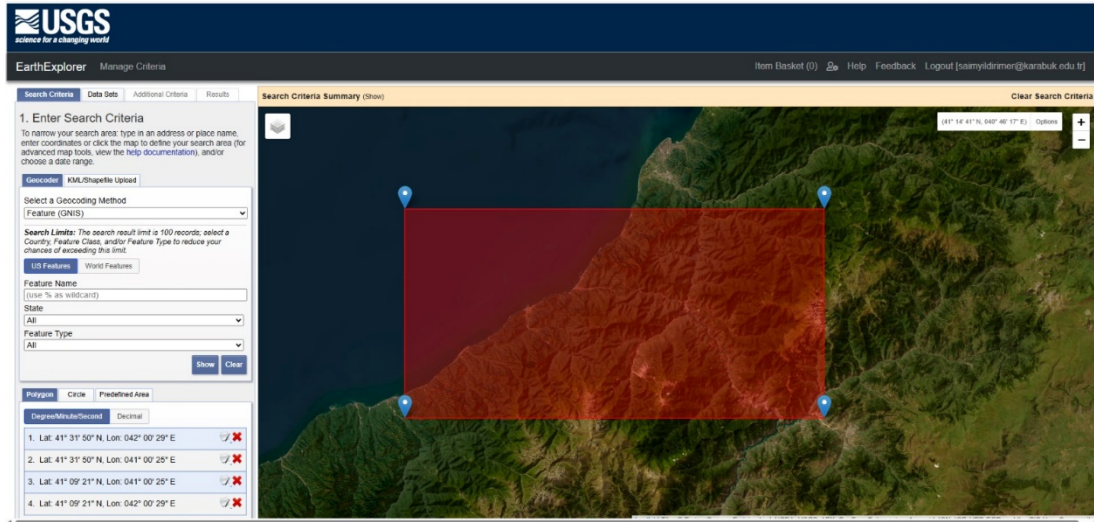
SYM, pek çok analizde yararlanılan temel bir veri kaynağıdır. Bu analizlerin doğruluk düzeyi, SYM'nin kalitesiyle doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, SYM üzerinde gerekli ön işlemlerin uygulanarak verinin iyileştirilmesi, analiz sonuçlarının güvenilirliğini de artıracaktır (Ödeker 2020). SYM verilerinde doğal olmayan çukurlar (sink/pit) bulunabilir ve bunlar akış yönü ile havza sınırlarının doğru belirlenmesini engeller. Bu nedenle, Fill komutu uygulanarak söz konusu çukurlar doldurulmuş ve hidrolojik analizler için uygun hale getirilmiştir.

Ayrıca çalışmada yöntem olarak erozyon riskini belirlemek amacıyla literatürde yaygın olarak kullanılan ICONA yöntemi tercih edilmiştir. ICONA temelde arazinin toprak aşınımı ve korumasını ele almaktadır. Arazi kullanım verileri için Avrupa Çevre Ajansı tarafından CORINE 2018 (Çevresel Bilgilerin Koordinasyonu Projesi) arazi sınıflandırması yöntemi kullanılmıştır. Türkiye’de 1998’de başlatılan projede, ilk olarak 2000 yılına ait Landsat görüntüleri kullanılmış ve bu çalışma 2008 yılında tamamlanmıştır. Ardından 2006 yılı Spot ve IRS görüntüleriyle gerçekleştirilen CORINE 2006 projesi aracılığıyla, 2000–2006 yılları arasında 5 hektar ve üzerindeki tüm arazi

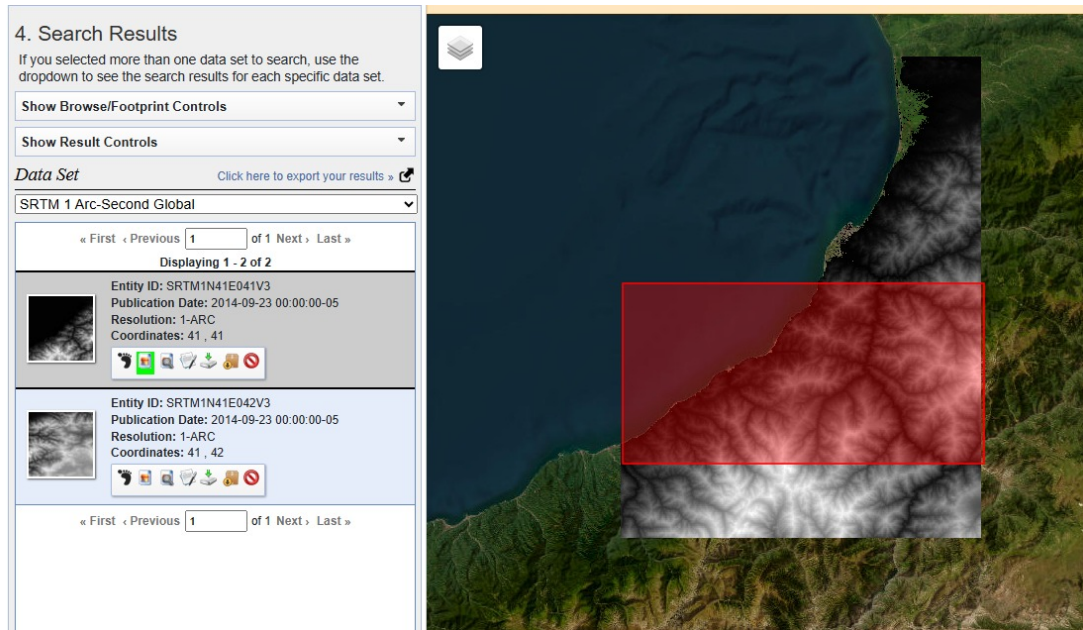
örtüsü değişimleri belirlenmiş; ülke düzeyinde güncellenmiş arazi kullanım haritaları elde edilmiştir (Yıldırım, 2013).

2.3 Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) (Digital Elevation Model)

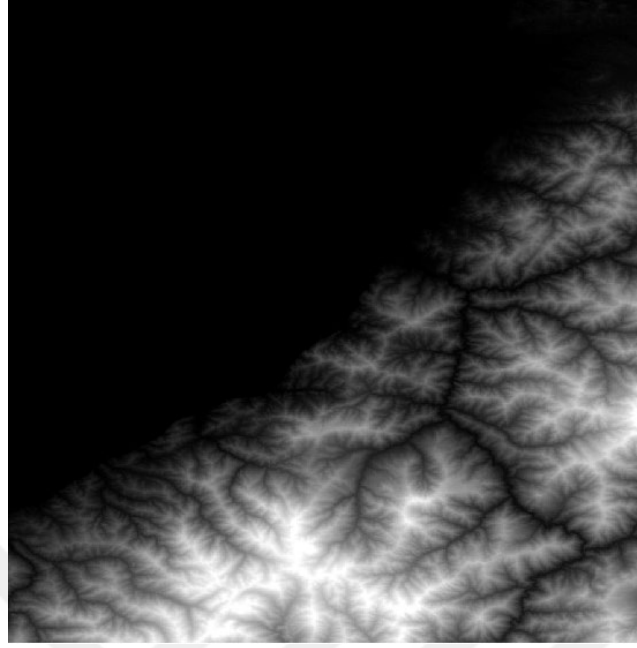
SYM'ler bu tür çalışmalarda temel altlığı oluşturan çıktılardan bir tanesidir. Bir alana ilişkin SYM'nin oluşturulması ile havza alanına ilişkin birçok parametreye kolaylıkla ulaşılabilmektedir. Çalışmada kullanılan SYM verisi aşağıda resimde görüldüğü gibi <https://www.usgs.gov/> internet adresinden alınmıştır.



Şekil 3. USGS arayüzünde SYM verisi arama ekranı



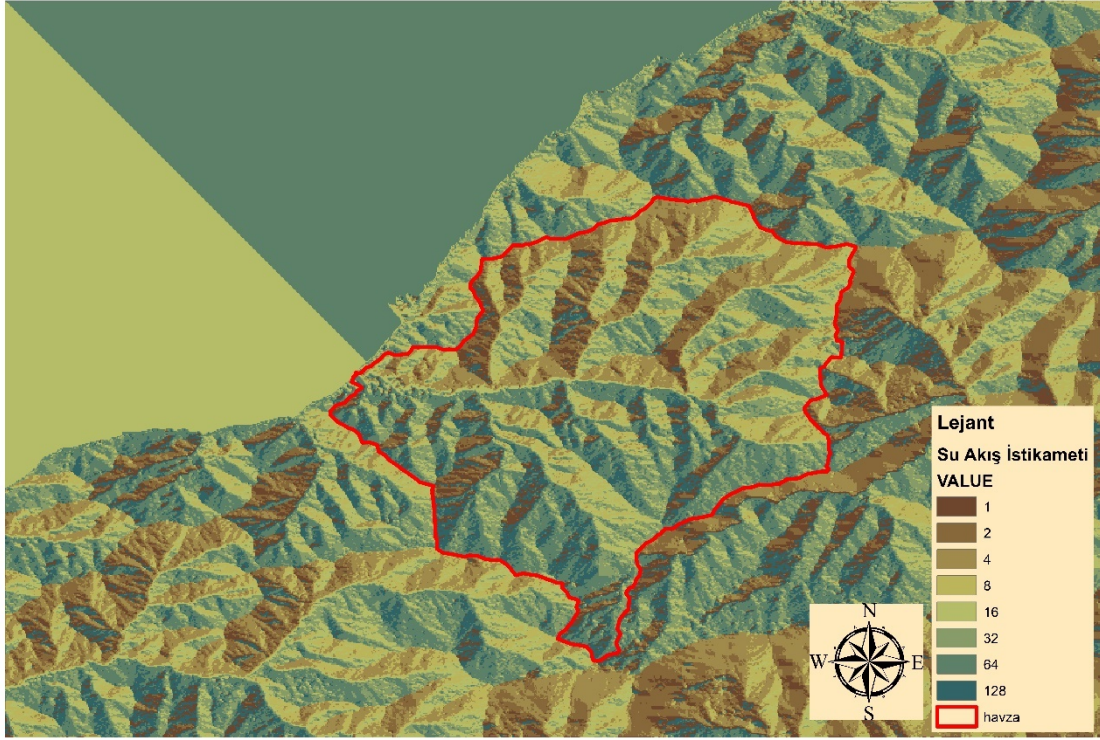
Şekil 4. SYM verisinin Hopa Deresi Havzasını kapsayan paftası



Şekil 5. USGS'ten indirilen ve ArcGIS ortamına aktarılan SYM verisi

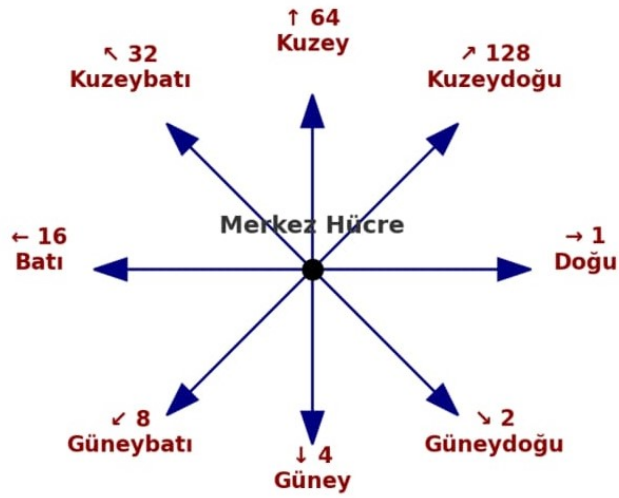
2.4 Su Akış İstikameti ve Akış Toplamı (Water Flow Direction and Flow Accumulation)

Hücre içerisine veya dışına gerçekleşen su hareketi benzetmesi, yüzeyin hidrolojik analizinde kullanılabilecek etkili bir örnektir. Akış Yönü (Flow Direction) işlevi, komşu hücrelerin yükseklik değerlerini karşılaştırarak suyun yönlendiği doğrultuyu belirler (Bağdatlı ve Öztürk, 2014). CBS ortamında oluşturulan çalışma alanına ait Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verileri kullanılarak, Spatial Analyst modülündeki hidroloji araçları yardımıyla akış yönü haritası hazırlanmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Su Akış İstikameti (Flow Direction)

ArcGIS'te su akış istikameti (Flow Direction) çıktısında görülen lejant değerleri, her hücreden (pikselden) suyun hangi yöne akacağını gösterir. Yani rakamsal değerler bir yön kodudur. ArcGIS, D8 algoritması kullanır: her hücre, etrafındaki 8 komşu hücreden hangisine en dik eğimle akıyorsa oraya yönlendirilir. Bunun için de sabit sayısal kodlar kullanılır:

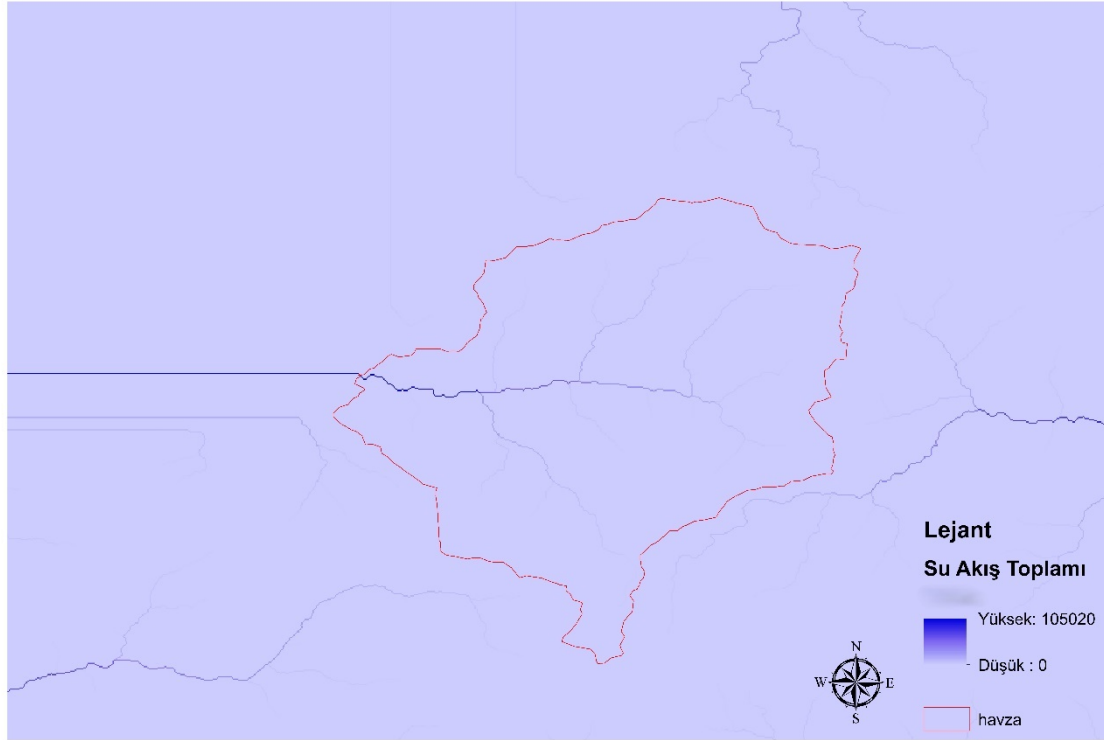


Şekil 7. Su Akış İstikameti Lejant Değerleri Kodları

Örneğin, bir hücre değeri 64 ise su kuzeye akıyor demektir.

2 ise su güneydoğuya, 16 ise batıya akıyor demektir. 2 ise su güneydoğuya, 16 ise batıya akıyor demektir. Diğer bir ifade ile lejanttaki bu sayılar akış yönü kodlarıdır, eğim ya da debi olarak algılanmamalıdır.

Akış istikameti haritası kullanılarak, çalışma alanındaki su akış toplamı Flow Accumulation fonksiyonu yardımıyla hesaplanmıştır. Bu fonksiyon, en yüksek kotlardaki hücrelerden başlayarak her bir hücreye ulaşan akış birikim değerini (flow accumulation value) belirler. Bu yöntemle elde edilen havza alanına ait su akış toplamı aşağıda (Şekil 8) sunulmuştur.



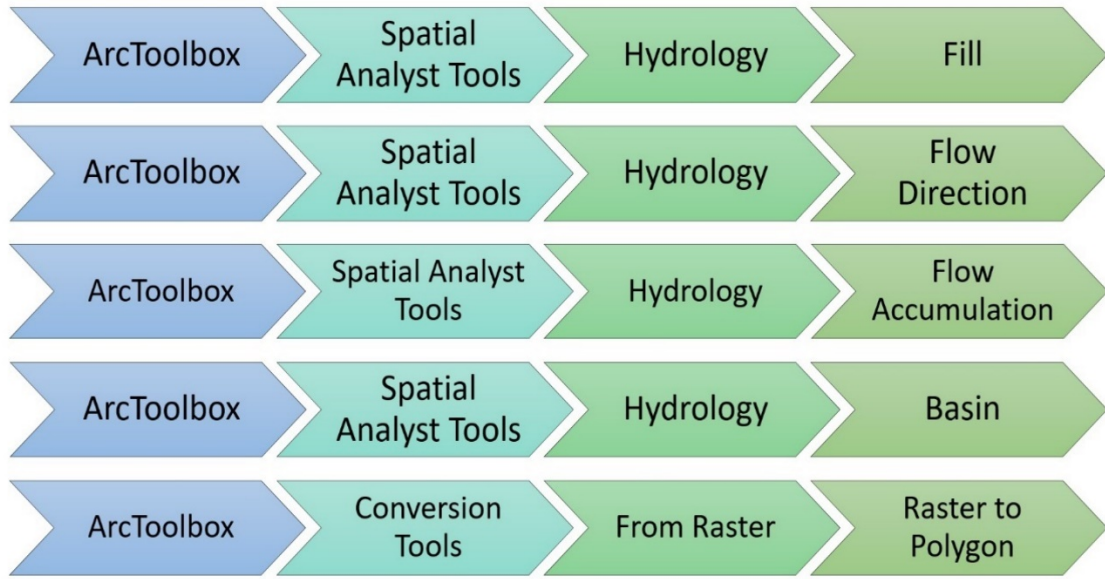
Şekil 8. Hopa Deresi Havzası İçin Su Akış Toplamı (Flow Accumulation)

2.5 Havza Sınırları (Watershed Boundaries)

Hidroloji modülünde yer alan Watershed (havza) belirleme aracı kullanılarak havza sınırı belirlenmiştir. Bu modül seçilen çıkış noktasına göre tüm havza sınırını belirler. En son işlem olarak Raster to Polygon işlemiyle, bu sınırın vektör formata dönüştürülmesi sağlanır. Yapılan işlemlerde temel amaçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Fill → Hidrolojik süreklilik sağlamak için
- Flow Direction → Akış yönlerini belirlemek için
- Flow Accumulation → Yüzeysel akış miktarını tahmin etmek için
- Stream Network → Akarsu ağını belirlemek için
- Watershed → Havza sınırını çıkarmak için

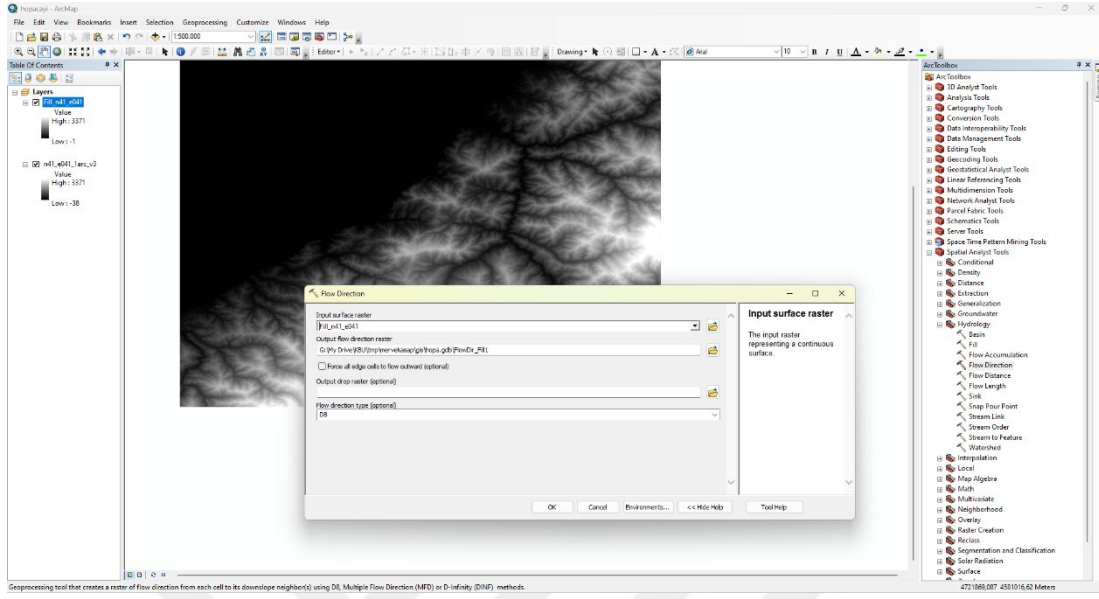
Havza sınırlarının belirlenmesine ilişkin analiz süreci, ArcGIS yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilen adımları içerecek biçimde, aşağıda iş akış şeması olarak sunulmuştur (Şekil 9).



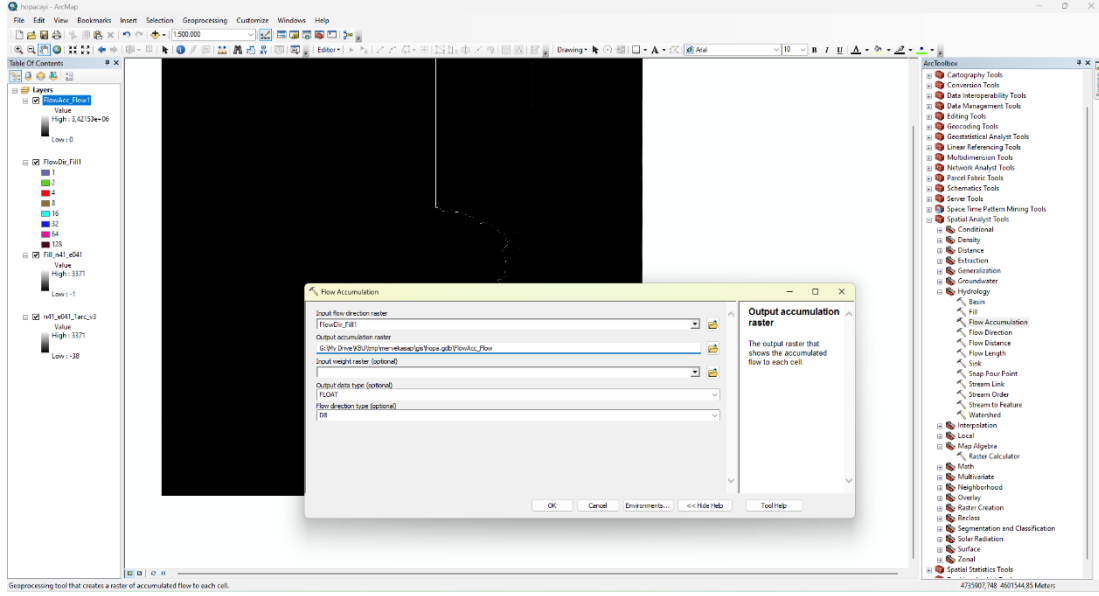
Şekil 9. Havza Sınırlarını Belirlemede Kullanılan İş Akışı Şeması

Sayısal Yükseklik Modelinden başlayıp havza sınırlarının belirlenmesine kadar izlenen işlem basamakları, her adım için görsel örneklerle birlikte aşağıda adım adım sunulmuştur:

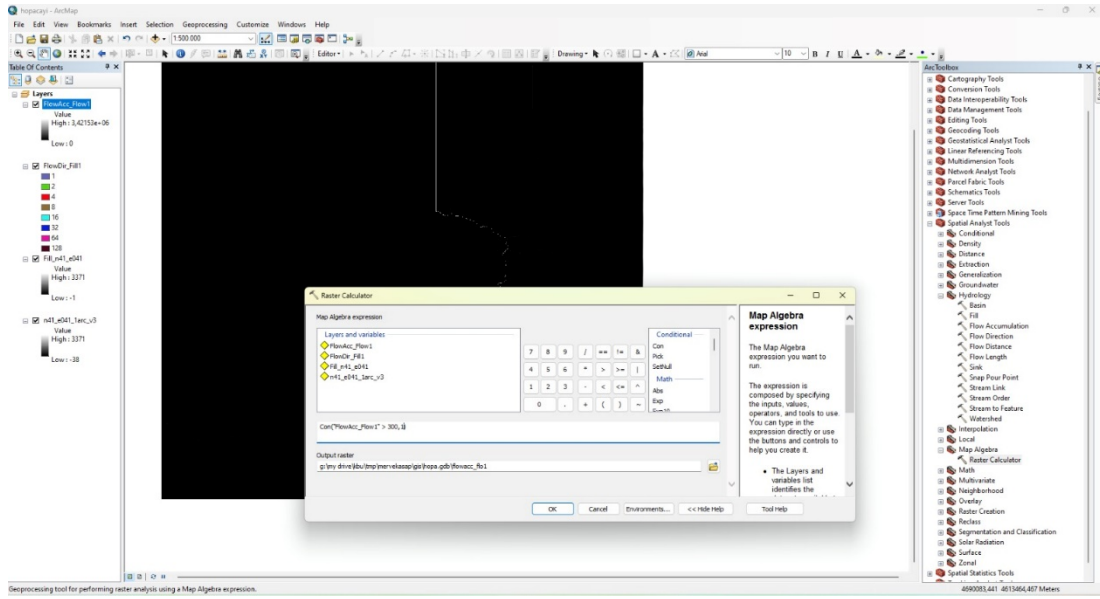
✓ Akış yönleri bulunur.



Şekil 12. Hopa Deresi Havzası İçin Akış Yönü (Flow Direction) Haritası

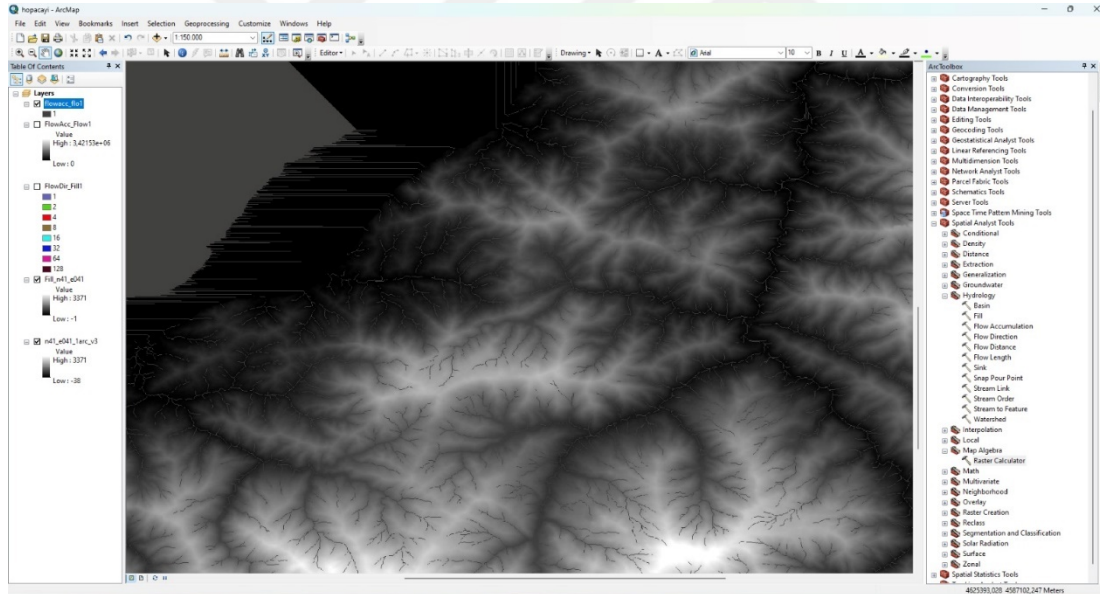


Şekil 13. Hopa Deresi Havzası İçin Su Akış Toplamı (Flow Accumulation) Haritası



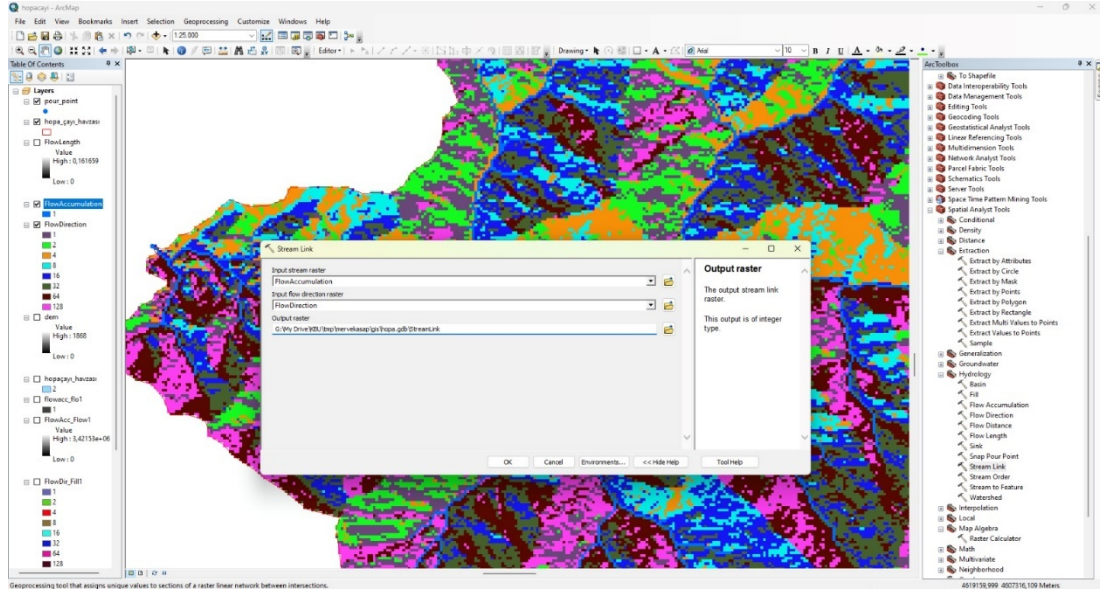
Şekil 14. Flow Accumulation verisine eşik değeri uygulanması

ArcMap Üzerinde Raster Calculator ile Drenaj Yoğunluğu Düzenlenmiştir,

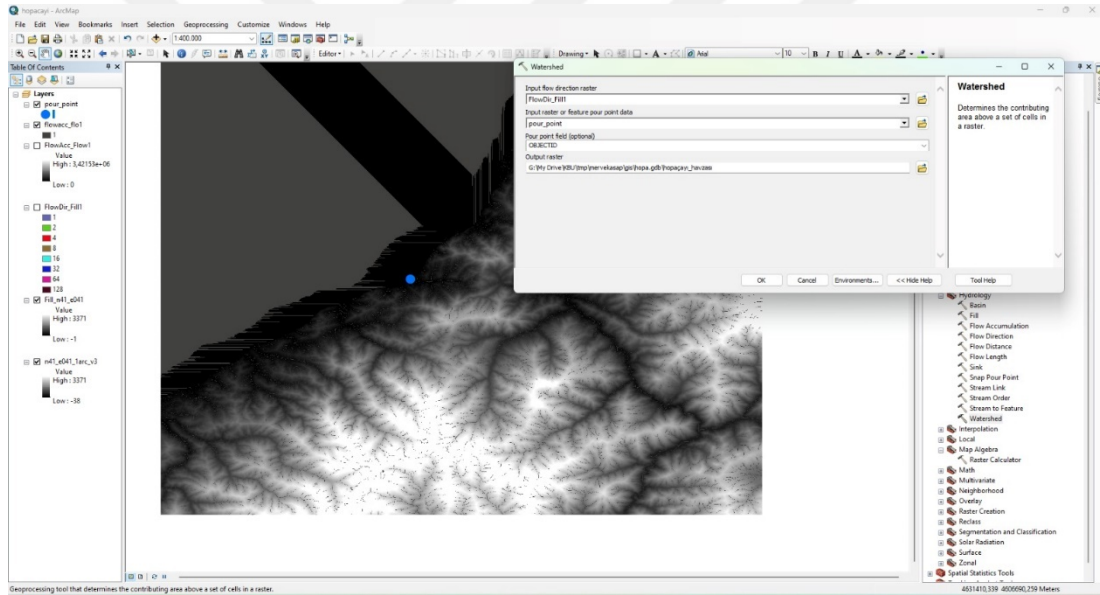


Şekil 15. Raster Calculator Komutuyla Elde Edilen Drenaj Yoğunluğu Haritası

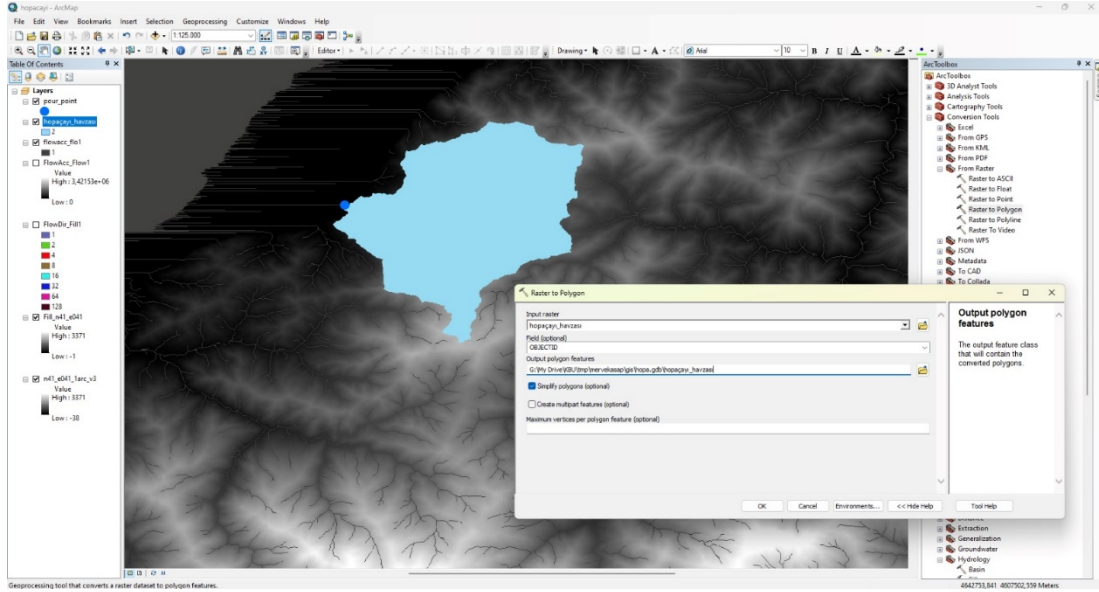
✓ Su ayırım çizgilerine dayanarak havza sınırlarının raster verisi elde edilir.



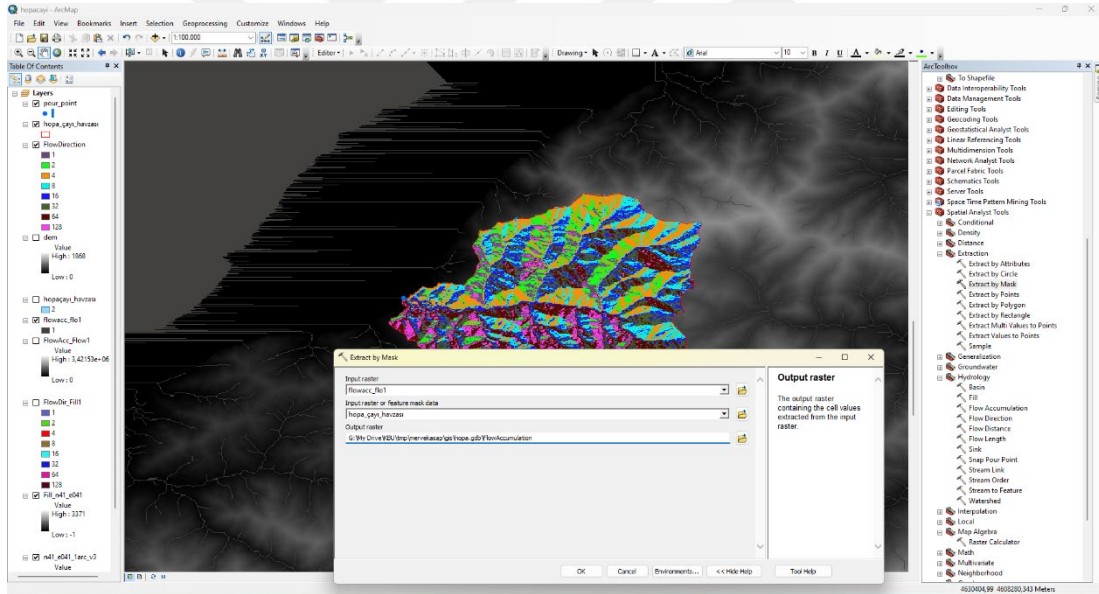
Şekil 16. ArcMap Stream Link Komutu İle Akış Yönleri Belirlenmesi



Şekil 17. Watershed Aracı İle Seçilen Çıkış Noktasına Göre Hopa Deresi Havzasının Sınırlandırılması



Şekil 18. ArcMap Raster to Polygon Komutu ile Havza Raster'ı Vektör Veriye Dönüştürme



Şekil 19. ArcMap Extract by Mask Komutu ile Dem Verisinin İçinde Havza Alanını Çıkarma

✓ Raster veri, vektör veriye dönüştürülür.

Raster to Polygon aracı kullanılarak raster formatındaki havza sınırı verisi vektör formata dönüştürülmüş ve dışa aktarılmıştır

Erozyon, genellikle artan eğim ve eğim uzunluğu ile paralel olarak, yüzeysel akışın hızı ve hacminde bir artışa bağlı olarak yoğunlaşmaktadır. Düz zeminlerde yağmur damlalarının etkisiyle toprak parçacıkları rastgele yönlerde sıçrarken, eğimli yüzeylerde bu sıçrama yönü daha çok eğim doğrultusunda, yani aşağı yönde yoğunlaşır. Bu durum, eğim açısının artmasına bağlı olarak daha da belirgin hâle gelir (Çanga, 1985). Hopa Deresi havzasın için oluşturulan eğim haritasında görüldüğü gibi bölgede eğim genel olarak fazla görülmektedir.

2.8 Drenaj Ağı (Drainage Network)

Akarsular doğdukları kaynak sahalarından döküldükleri taban seviyelerine kadar olan yolculukları boyunca her yönden farklı boylarda birçok kol alırlar. Böylelikle akarsular kollarıyla birlikte bir ağ (şebeke) meydana getirirler. Buna akarsu drenajı veya akarsu ağı denir. Hopa Deresi, yaklaşık 11 kilometre uzunluğunda olup ilçenin en büyük akarsuyudur. Balıklı Dağı bölgesinden doğan Kilise (Galişka) Deresi ile Sultanselim Dağı bölgesinden kaynaklanan Koyuncular (Zolona) Deresi olmak üzere iki ana yan kola sahiptir (Tarkan, 1973). Galişka Deresi, kaynağından itibaren güneydoğu-kuzeybatı doğrultusunda; Zalona Deresi ise kaynağından itibaren kuzeydoğu-güneybatı yönünde dar bir yatakta akarak, Çavuşlu köyü civarında birleşip Hopa Çayı'nın ana kolunu oluştururlar. Hopa Çayı, bu birleşmeden sonra Karadeniz'e ulaşana dek doğu-batı yönünde akışını sürdürür. Zalona Deresi, Sultanselim Dağı'nda 1100 metre yükseklikte doğar ve Koyuncular köyünden geçtikten yaklaşık 6 km sonra 140 metre rakıma inerek Galişka Deresi ile birleşir (Tarkan, 1973).



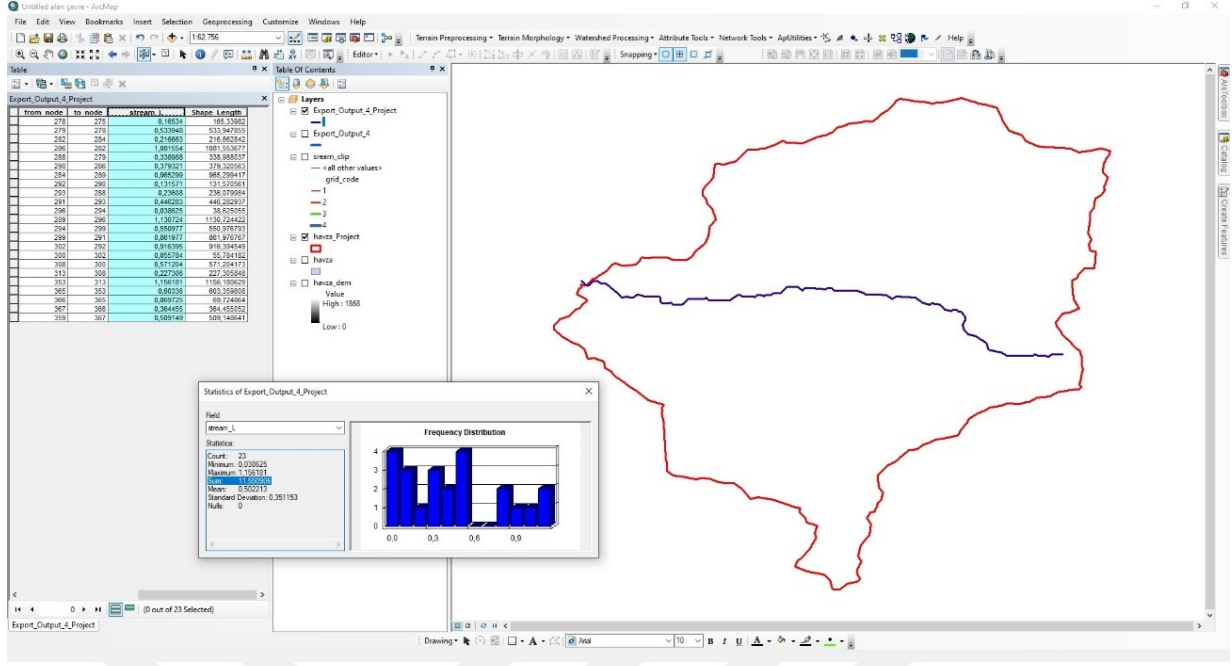
Şekil 21 Hopa Deresi Havzası Drenaj Ağı

Hidrografik ağı modellenmesine yönelik olarak gerçekleştirilen drenaj ağı çıkarımı, ArcGIS yazılımı içerisinde yer alan hidrolojik analiz araçları kullanılarak yapılmıştır. Bu kapsamda, havzaya ait akarsu ağının belirlenmesinde sırasıyla Flow Direction, Flow Accumulation ve Stream Order analizleri uygulanmıştır. Uygulanan bu işlem basamakları, yüzey topografyasına dayalı olarak akış yönlerinin ve birikim alanlarının belirlenmesini sağlamakta; ardından akarsu kollarının hiyerarşik derecelerine göre sınıflandırılmasına olanak tanımaktadır.

ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Stream Order

2.9 Ana Akarsu Uzunluğu (L)

Ana akarsu uzunluğu belirlenirken Strahler yöntemine göre akım başlangıcından ağız kısmına kadar olan kesintisiz hat belirlenerek ölçüm yapılmıştır. Havzanın drenaj ağında belirlenen dere sınıflarından çıkış kısmına doğru en büyük olan 4. derecedeki dere sırası (ana kol) başlangıcından başlanarak akım başlangıcına kadarki uzunluğu dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda Hopa Deresi Havzasında ana akarsu olarak belirlenen kolun uzunluğu yaklaşık 11 km olarak tespit edilmiştir.



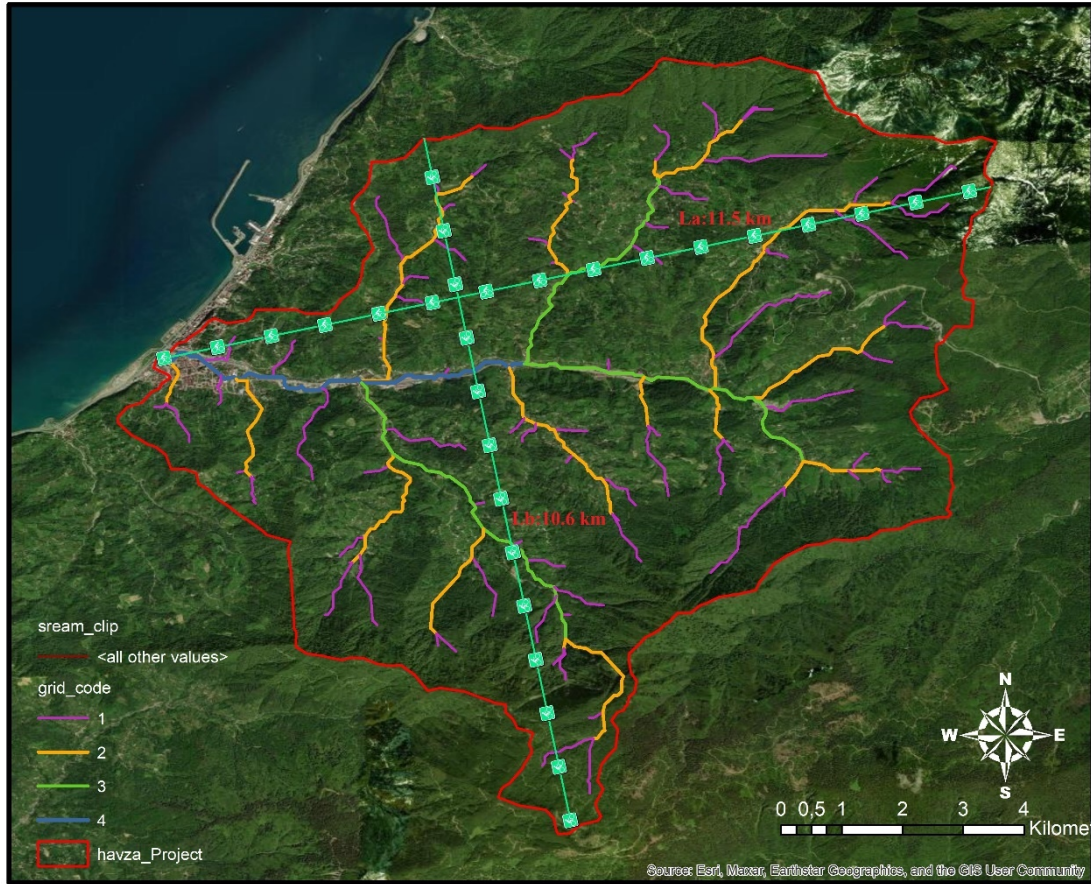
Şekil 22. Hopa Deresi Havzası Ana Anakarsu Uzunluğu Ölçümü



Şekil 23. Hopa Deresi Ana Akarsu Haritası

2.10 Maksimum Havza Genişliği (Lb) ve Havza Uzunluğu (La)

Havza analizlerinde, söz konusu bu genişlik ve uzunluk ölçümleri, akarsuyun ağız noktasından kaynağa doğru uzanan uzun eksen belirlendikten sonra, bu eksen dik kesen ve havzanın maksimum genişliğini ifade eden enine eksen tespit edilerek hesaplanmaktadır.



Şekil 24. Hopa Deresi Havzası Maksimum Uzunluk ve Genişlik Haritası

Havzanın morfolojik analizine yönelik olarak, maksimum uzunluk ve genişlik ölçümleri ArcGIS Pro ortamında manuel yöntemle gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, analiz edilen havza poligonları üzerine en uzun doğrusal mesafeyi (maksimum uzunluk) ve bu uzunluğa dik yönde kalan en geniş mesafeyi (maksimum genişlik) temsil edecek şekilde iki adet çizgi (line) çizilmiştir. Bu işlem, ArcGIS Pro'nun "**Drawing**" sekmesinde yer alan "**Line**" aracı kullanılarak, ilgili havza sınırları üzerinde görsel değerlendirme ve mekânsal ilişkiler dikkate alınarak yapılmıştır.

Çizilen bu çizgilerin ölçümü, yazılımın "**Measure**" aracı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçüm işlemleri sırasında, birim olarak kilometre (km) tercih edilmiştir. Ölçüm sonrası Hopa

Deresi Havzası maksimum havza uzunluğu 11,5 km, maksimum havza genişliği 10,6 km olarak ölçüm gerçekleştirilmiştir.

2.11 Drenaj Yoğunluğu

Drenaj yoğunluğu, Horton tarafından üretilmiş olup, en önemli morfometrik parametrelerden birisidir. Havzada, Strahler yöntemine göre oluşturulan dere sınıflandırmasında elde edilen toplam akarsu (su taşıyan) uzunluğunun (L) havza alanına (A) bölünmesiyle elde edilmektedir (Horton, 1945). Drenaj yoğunluğu; birim alana düşen akarsu uzunluğunu ifade etmekte olup, hidrografik ağın gelişmişliği, yüzey akışı potansiyeli ve infiltrasyon kapasitesi gibi birçok hidrolojik ve jeomorfolojik özelliğe dair dolaylı bilgiler sunmaktadır.

Toplam akarsu uzunluğu (L): 95.464 km, Havza alanı (A): 75 km²

Drenaj Yoğunluğu (D)= $L/A=95.464/75=1.27$ km/km²

Elde edilen 1.27 km/km²'lik değer, literatürde orta düzey drenaj yoğunluğu olarak kabul edilen sınıf aralığında yer almaktadır (Strahler, 1957; Horton, 1945). Bu durum, havzanın yüzeysel akış yönünden belirli bir potansiyele sahip olduğunu, ancak akarsu ağının çok sık olmadığını göstermektedir.

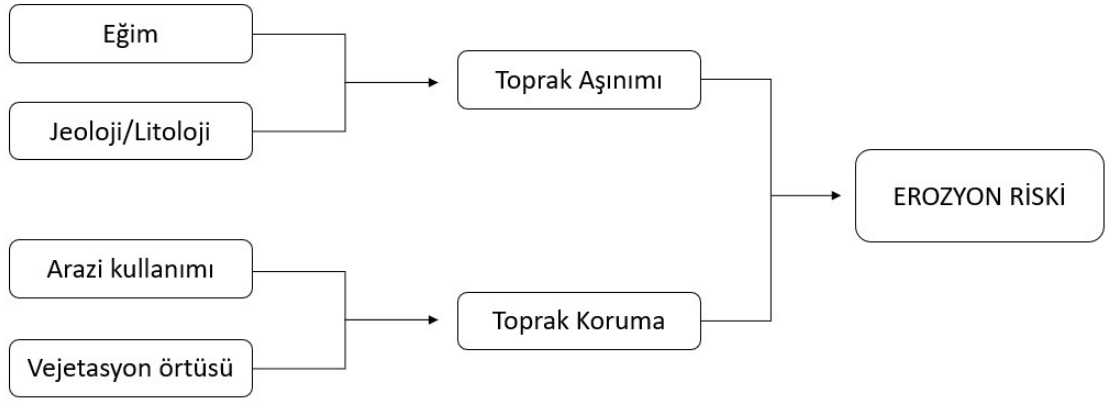
Orta seviyedeki drenaj yoğunluğu, genellikle orta geçirgenlikte zemin özellikleri, orta eğimli topoğrafya ve dengeli yağış koşulları ile ilişkilendirilir. Aynı zamanda bu yoğunluk seviyesi, yüzeysel erozyon riski açısından da dikkatle değerlendirilmelidir; çünkü daha yoğun drenaj ağı, yüzey akışının hızını ve toprak taşınma potansiyelini artırabilir.

Sonuç olarak, çalışma alanının drenaj yoğunluğu, hidrolojik ve morfometrik anlamda havzanın akış düzeninin belirgin, fakat aşırı yoğun olmadığı bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, havzanın su yönetimi, toprak koruma ve arazi kullanımı planlamaları açısından dikkate alınması gereken bir parametre olarak değerlendirilmektedir.

2.12 ICONA Modeli Yardımıyla Erozyon Risk Durumunun Belirlenmesi

ICONA yönteminde bir havza veya bölge için arazi kullanımı, bitki örtüsü yoğunluğu, topografik (eğim) durumu ve bölgenin jeolojik özellikleri değerlendirilerek, bölgenin erozyon risk durumu belirlenebilmektedir. Bölge özellikleri ile ilgili bu dört ana değişken

kullanılarak; arazi kullanımı ve bitki örtüsü yoğunluğu bilgilerinden toprak koruma düzeyi, topografik yapı(eğim) ve jeolojik özelliklerinden de aşınabilirlik bilgilerini gösteren haritalar üretilebilmektedir. Yöntemin son bölümünde ise elde edilen bu iki harita birlikte değerlendirilerek, risk durumu elde edilmektedir. ICONA yönteminde değişkenler arasındaki ilişkiler ve değerlendirmeler, karar matrisleri yardımıyla yapılmaktadır (Bayramın ve ark., 2003).

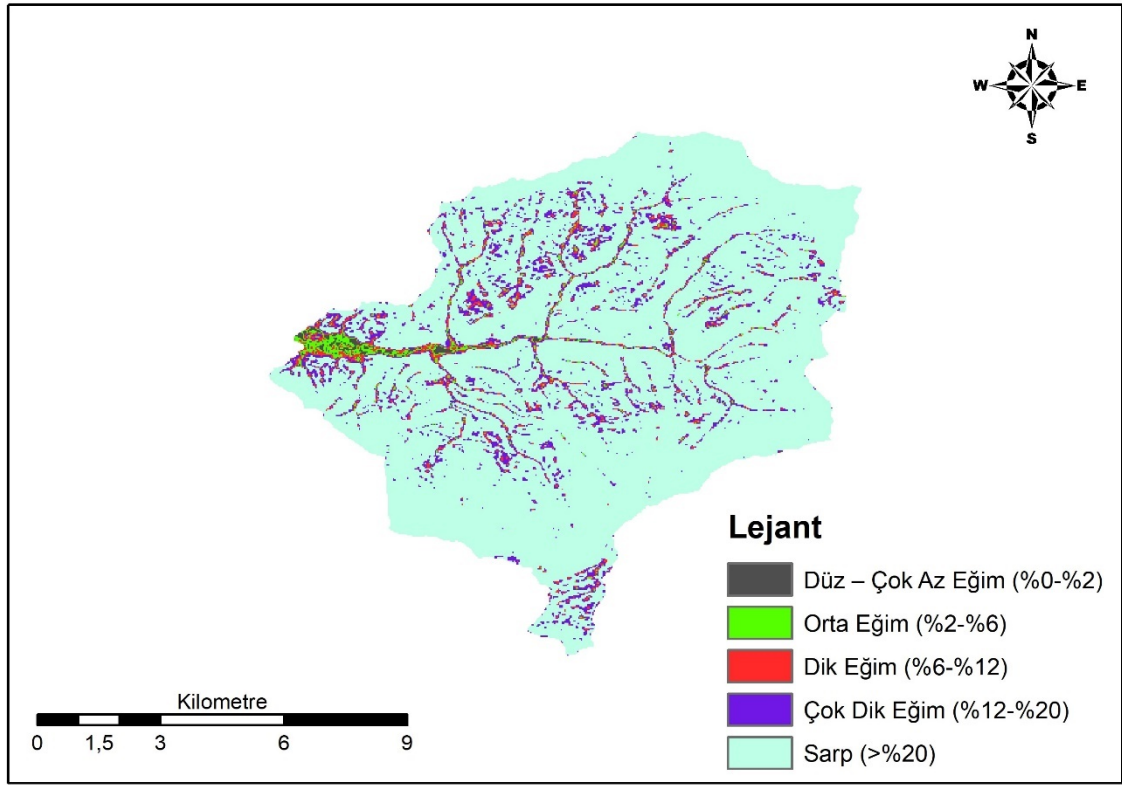


Şekil 25. ICONA Erozyon Riski Belirleme Akış Şeması

ICONA temelde arazinin toprak aşınımı ve korumasını ele almaktadır. Toprak aşınımı arazinin eğim ve litolojik yapısının ilişkisiyle belirlenirken, toprak koruma ise arazinin kullanımı ve vejetasyon örtüsünün sıklığının ilişkisiyle belirlenmektedir.

2.12.1 Eğim

ICONA yöntemindeki eğim sınıfları ve özellikleri aşağıda verilmiştir. Çalışma bölgesinin ICONA yöntemine göre eğim sınıflandırması yapılmış ve aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 26. Hopa Deresi Havzası Eğim Haritası

Havzaya ait sayısal yüzey modeli üzerinden elde edilen raster eğim verisi, literatürde (Bilgiç&Er, 2025, Everest vd., 2025, Ediş vd., 2021, Yüksel vd., 2019) benzer olarak kullanılan sınıflandırma aralıklarına göre beş sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflar; Düz – Çok Az Eğim (%0–2), Orta Eğim (%2–6), Dik Eğim (%6–12), Çok Dik Eğim (%12–20) ve Sarp Eğim (> %20) şeklinde tanımlanmıştır. Sınıflandırılmış raster veri üzerinde piksel bazlı alan hesaplaması yapılarak her eğim zonunun havza içindeki alansal dağılımı hektar (ha) cinsinden belirlenmiş, ardından toplam alan üzerinden yüzde oranları hesaplanmıştır. Analiz sonucunda havzanın morfolojik yapısının eğim faktörü açısından karakteristik dağılımı ortaya konmuştur.

Tablo 1. Eğim Haritasının Alansal Dağılımı

Lejant	Alan (ha)	Alan(%)
Düz – Çok Az Eğim (%0-%2)	35,47935	0,48%
Orta Eğim (%2-%6)	100,88372	1,36%
Dik Eğim (%6-%12)	206,53234	2,79%
Çok Dik Eğim (%12-%20)	512,05115	6,92%
Sarp (>%20)	6545,94861	88,45%
Toplam	7400,895166	100%

Havza genelinde eğim değerlerinin belirgin bir şekilde çeşitlilik gösterdiği tespit edilmiştir. >%20 eğime sahip “Sarp” sınıfı, havzanın en geniş alanını kaplamakta olup yüksek eğimli yamaçların havzanın genel morfolojisinde baskın olduğunu göstermektedir. Bu durum, özellikle akarsu vadileri ve derenin yan kolları boyunca gelişen derin yarıntı sistemleriyle birlikte erozyon potansiyelinin yüksek olduğunu işaret etmektedir.

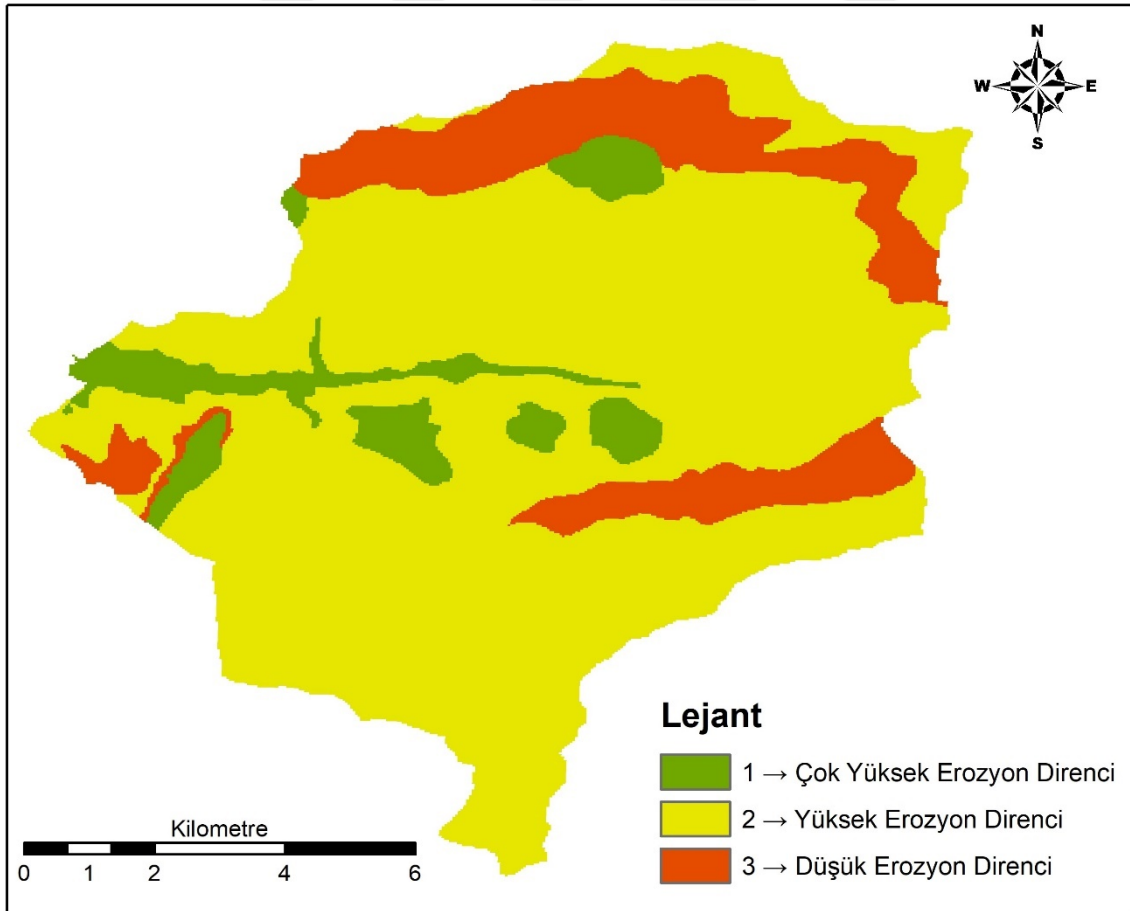
%12–20 aralığındaki “Çok Dik Eğim” alanları, sarp zonlarla birlikte havzanın üst kot ve yamaç kesimlerinde yoğunlaşmakta ve yüzey akışının hızlandığı, toprak taşınımının belirginleştiği morfodinamik sahaları oluşturmaktadır. Bu iki yüksek eğim sınıfı birlikte değerlendirildiğinde, havzanın önemli bir bölümünün jeomorfolojik açıdan hareketli ve istikrarsız yamaç süreçlerine açık olduğu anlaşılmaktadır.

Buna karşılık %0–2 aralığındaki “Düz – Çok Az Eğim” alanları havza içerisinde en düşük oranda temsil edilmekte olup büyük ölçüde dere tabanları, vadi içi dar düzlükler ve yerleşim birimlerinin konumlandığı lokal alanlarla sınırlıdır. %2–6 aralığındaki “Orta Eğim” sınıfı, özellikle tarımsal kullanım potansiyeline sahip geçiş zonlarını oluşturmaktadır. %6–12 aralığındaki “Dik Eğim” alanları ise hem tarımsal faaliyetlerin kısıtlandığı hem de yerleşim baskısının azaldığı morfolojik bir eşik olarak dikkat çekmektedir. Ancak hem Şekil 26 hem de Tablo1’den de görüleceği üzere yukarıda sayılan bu üç eğim grubuna ait alanların tüm ilçe alanına oranları oldukça düşüktür. Bu durum, ilçede (ve genel olarak tüm Doğu Karadeniz Bölgesi’nde) tarım yapılacak alanların kısıtlı olmasına neden olmaktadır ki bu da mevcutta gerçekleştirilen çay tarımının önemli bir kısmının sarp eğimli (>%20) sınıfında yer alan arazilerde yapılmasını zorunlu kılmıştır. Oysa teknik ve ekolojik açıdan %20’nin (bazı kaynaklarda %15) üzerinde eğime sahip alanlarda tarım yapılmaması, aksine bu alanların özellikle toprak ve su koruma amaçlı olarak doğal vejetasyon örtüsü (orman, mera, çayır, vb.) altında kalması gerekmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, havzanın topografik yapısı yüksek eğim değerlerine sahip dik ve sarp yamaçların hakimiyeti altındadır. Bu durum, Hopa Dere Havzası'nın akarsu aşındırmasıyla şekillenmiş dar vadiler ve yüksek rölyef enerjisine sahip bir dağlık havza karakteri taşıdığını göstermektedir. Eğim dağılımı, havzada hem yerleşim ve arazi kullanım kararlarının sınırlı sahalara yoğunlaştığını hem de hidrolojik süreçlerin yüzey akış yönü ve erozyon duyarlılığı üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır.

2.12.2 Jeoloji

Toprağı oluşturan ana kayaçlar, farklı jeolojik oluşum özelliklerine sahip olup, buna bağlı olarak aşınma ve taşınma süreçlerine karşı değişken direnç veya eğilimler sergilemektedir. ICONA yönteminde ise bu ayrıntılara yer verilmeden, yalnızca çalışma bölgesinin genel jeolojik yapısının sınıflandırılmasına odaklanılmaktadır (Tombuş vd 2012).



şekil 27. Hopa Deresi Havzası Jeoloji Haritası

Hopa Dere Havzası'nın jeolojik yapısı, yüzey süreçlerinin şiddeti ve dağılımı üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Harita analizine göre havza genelinde yüksek erozyon direncine sahip litolojiler (sarı alanlar) geniş yer kaplamakta olup, bu birimler kompakt yapılı, masif kayaç dokusu nedeniyle heyelan gelişimine karşı göreceli olarak daha stabil zonlar oluşturmaktadır. Bu alanlarda erozyon tipi daha çok yüzeysel akışa bağlı ince materyal taşınımı şeklinde gelişmekte, büyük ölçekli kütle hareketleri sınırlı düzeyde gözlenmektedir.

Buna karşılık, düşük erozyon direncine sahip formasyonlar (kırmızı alanlar) zayıf çimentolanmış, ayrışmaya yatkın ve suyu kolay absorbe eden litolojik özellikleri nedeniyle heyelan, şev duraysızlığı ve çizgisel erozyon süreçleri açısından yüksek duyarlılık göstermektedir. Bu kesimler, özellikle yağış rejimi yüksek ve akarsu ağının yoğun olduğu alt havza girişlerinde kritik risk zonları olarak tanımlanabilir.

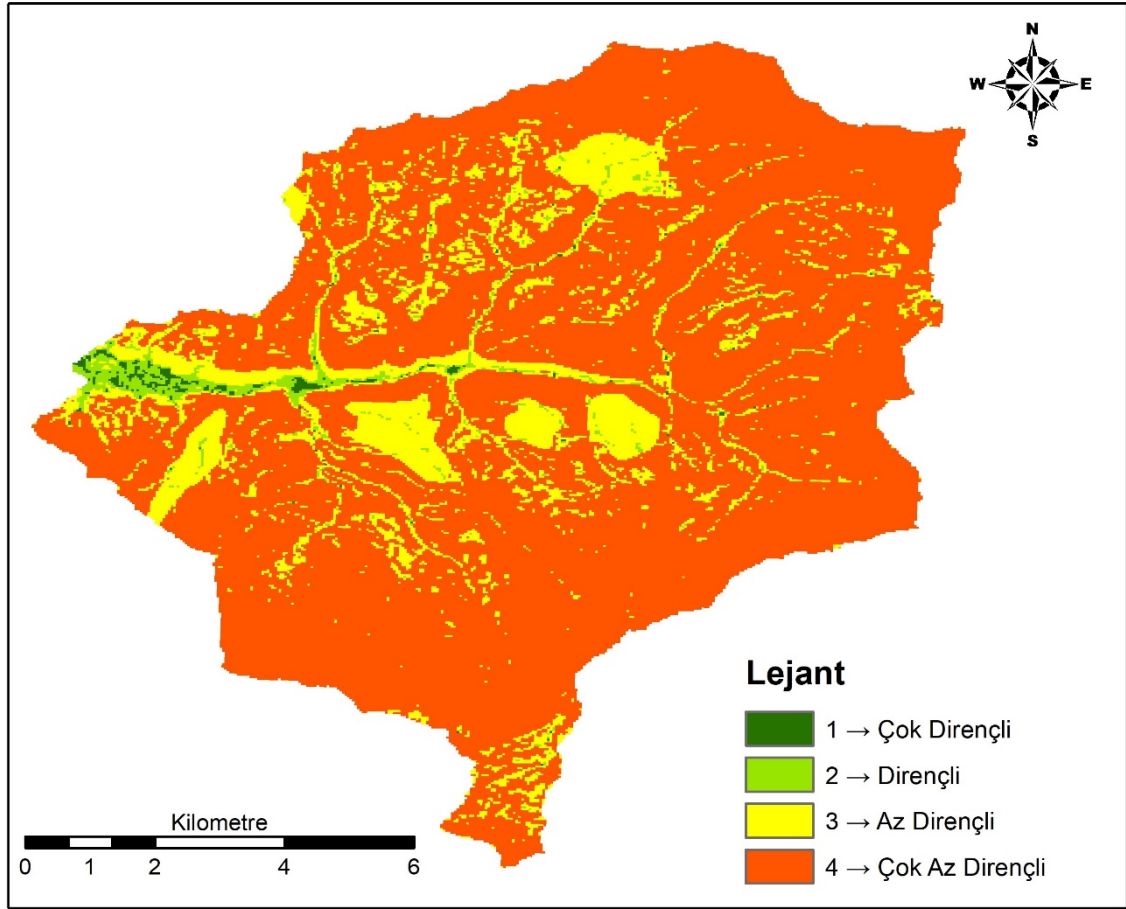
Çok yüksek erozyon direncine sahip lokal jeolojik çıkıntılar (yeşil alanlar) ise akış yönünü kontrol eden morfolojik eşikler oluşturarak hem akıntı hızını etkileyen hidrodinamik bariyerler, hem de heyelan tetikleyici topografik kırıklıklar şeklinde işlev görmektedir. Bu alanların eteklerinde, yığinsal malzeme birikimi, heyelan topuk oluşumu ve sekonder yüzeysel akış yoğunlaşmaları tespit edilebilecek potansiyel morfodinamik süreçlerdir. Burada, ICONA modeli ile çalışma alanının “erozyona direnç” bağlamında jeolojik yapı haritası oluşturulurken “yüksek dirençli birimler” sınıfının baskın olduğu (Şekil 27 ve Tablo 2) görülmektedir. Ancak, bir sonraki alt başlık olan Toprak Aşınımı kısmında ise araştırma alanının büyük bir kısmının toprak erozyonuna uğrama bağlamında “duyarlı” sınıfta yer aldığı görülmektedir ki toprak erozyonu riski açısından bu çıktının çok daha doğru olduğu söylenebilir. Diğer bir ifade ile “jeolojik yapı haritası” ile “toprak aşınımı haritası” arasında ilk bakışta bir çelişki olduğu sanısına varılabilir. Ancak bu durumun bir çelişkiden ziyade ICONA modelinin uygulama mantığından kaynaklanan doğal bir sonuç (jeoloji için yaptığı sınıflandırmada eğimi hesaba katmazken toprak aşınımında eğimi kullanması) olduğunu belirtmekte fayda vardır.

Tablo 2. Jeoloji Haritasının Alansal Dağılımı

Lejant	Alan (Ha)	Yüzde (%)
1-Çok Yüksek Erozyon Direnci	1321.77	17.61%
2-Yüksek Erozyon Direnci	5684.47	75.73%
3-Düşük Erozyon Direnci	498.26	6.64%
Toplam	7504.50	100%

2.12.3 Toprak Aşınımı

Erozyona duyarlılık katmanı, eğim ve litoloji katmanlarının birleşimiyle oluşturulmuştur. Bu duyarlılık haritası, havza içindeki erozyon duyarlılığı ve/veya potansiyelini görsel olarak sunmaktadır. Genel olarak, eğim ve jeolojik haritalarının entegrasyonu, her bir haritanın sınıf özelliklerine dayalı olarak 5×5 boyutunda bir matris yapısının oluşmasına yol açmaktadır (Esmaceli Gholzom vd., 2020). Bu yöntemle göre, toprak erozyonu duyarlılık katmanı beş farklı sınıf halinde sınıflandırılmıştır: çok az aşınabilir, az aşınabilir, orta aşınabilir, şiddetli aşınabilir ve çok şiddetli aşınabilir.



Şekil 28. Hopa Deresi Havzası Toprak Aşınımı Haritası

Yukarıda da belirtildiği üzere, ICONA Modeli, toprak aşınım haritasını oluştururken jeolojiyle birlikte eğim faktörünü de hesaba katmaktadır. Bu durumda da modelin üzerinde çalıştığı arazinin jeolojik direnci (Şekil 27) yüksek de olsa, eğim faktörü işleme alındığından ve çok daha etkili olmasından dolayı modelin ortaya çıkardığı toprak aşınımı haritasında “aşınımına daha duyarlı” oranlar daha yüksek olarak değerlendiriyor. Hopa İlçesinin ve bağlantılı Hopa Deresi Havzasının çok eğimli olmasından kaynaklıdır ki toprak aşınımı bağlamında “az ve çok az dirençli” sınıflar harita genelinde baskın hale gelmiş (Şekil 28).

Tablo 3. Toprak Aşınım Haritasının Alansal Dağılımı

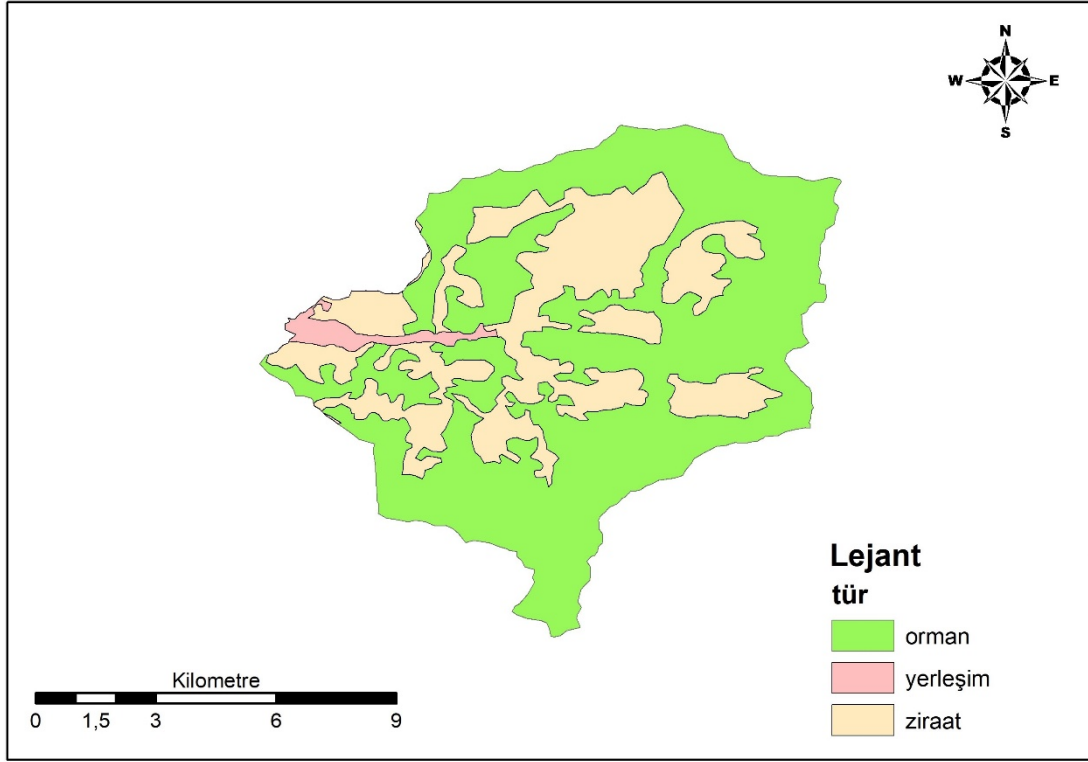
Lejant	Alan (ha)	Yüzde (%)
1- Çok Dirençli	38.858220	0.525 %
2- Dirençli	137.984167	1.865 %
3- Az Dirençli	1069.359005	14.451 %
4- Çok Az Dirençli	6153.587631	83.159 %
Toplam	7399.789023	100%

Çalışma alanına ait erozyon direnç sınıflarının mekânsal dağılımı, görsel analiz ve tablo verisiyle birlikte değerlendirildiğinde, aşağıdaki bulgular ortaya çıkmaktadır. Çok az dirençli alanlar, %83,16 ile çalışma alanının çok büyük bir kısmını kapsamaktadır. Bu durum, bölgenin geniş ölçekte erozyona karşı yüksek hassasiyete sahip olduğunu göstermektedir. Az dirençli alanlar ise %12,64 oranında olup, genellikle vadiler boyunca uzanan ve topografik olarak daha az eğimli bölgelerde yoğunlaşmaktadır. Dirençli alanlar %3,29 ile sınırlı bir yayılıma sahiptir. Bu alanlar daha çok nehir çevresi ve düşük yamaç bölgelerinde, açık yeşil tonlarda seçilebilmektedir. Çok dirençli alanların oranı sadece %0,91 olup, çalışma alanı genelinde oldukça küçük ve izole bölgelerde yer almaktadır. Haritada bu alanlar daha çok yerleşim veya yoğun bitki örtüsü ile ilişkilendirilebilecek alanları işaret etmektedir.

Bu dağılım, araştırma alanının genel jeomorfolojik yapısı, litolojik özellikleri ve bitki örtüsü ile yakından ilişkilidir. Özellikle erozyon kontrolü, toprak koruma ve arazi kullanımı planlaması açısından bu veriler oldukça kritiktir. Çok az dirençli alanların yaygınlığı, bölgenin sürdürülebilir arazi yönetimi açısından kırılgan olduğunu ve müdahaleye açık olduğunu göstermektedir.

2.12.4 Arazi Kullanımı

Arazi kullanımı, toprak erozyonu duyarlılığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olup, suyun yüzeysel akışını ve suların birikme durumunu belirlemesi açısından kritik bir parametre olarak öne çıkmaktadır (Karakoca, 2025). ICONA yönteminde ise, arazi kullanımına ilişkin veriler, toprak koruma düzeyinin tespit edilmesinde kullanılmaktadır (Tombuş vd., 2012).



Şekil 29. Hopa Deresi Havzası Arazi Kullanımı Haritası

Tablo 4. Arazi Kullanım Haritasının Alansal Dağılımı

Lejant	Alan (ha)	Yüzde (%)
1- Orman	5018,7250493	66,85%
2- Yerleşim	147,0303621	1,96%
3- Ziraat	2340,6920436	31,18%
Toplam	7506,447455	100%

Orman Alanları (Koruyucu Etki – Düşük Risk): Havzada en geniş alan orman örtüsü tarafından kaplanmıştır. Orman alanlarının özellikle eğimin yüksek olduğu yamacı alanlarda yer alması, yüzey akış hızını düşürerek erozyonun etkisini sınırlandırmaktadır. Bu durum, doğal bir erozyon tampon zonu oluşturmakta ve havzanın üst kesimlerinde jeomorfolojik stabiliteyi desteklemektedir.

Ziraat Alanları (Orta Risk – Kontrollü Kullanım Gerekir): Özellikle yağışın arttığı dönemlerde yüzey akışı artmakta ve ince malzeme taşınımı gözlenebilmektedir. Bu alanlarda kontursuz sürüm, yanlış ürün seçimi ve örtü bitkisinin yokluğu, toprak kaybını

hızlandırabilecek potansiyel risk faktörleri olarak değerlendirilmelidir. Örneğin fazla eğimli alanlarda doğal bitki örtüsünün tahrip edilerek çay ve fındık bahçelerine dönüştürülmesi.

Yerleşim Alanları (Yüksek Risk – Müdahale Gerektiren Nokta Alanlar): Yerleşim bölgelerinin, özellikle akarsu vadilerine yakın ve eğimin arttığı kırılma zonlarında konumlanması, erozyon ve heyelan riskini kritik düzeye çıkarmaktadır. Yapay yüzeylerin (beton/asfalt) akışa katılması, infiltrasyonu azaltmakta ve ani yüzey akışına bağlı erozyon süreçlerini hızlandırmaktadır. Bu bölgeler, müdahale önceliği yüksek risk zonları olarak değerlendirilmelidir. Ayrıca, bu durum, yerleşim alanlarının olası sel ve taşkınlardan da olumsuz etkilenmesi anlamına gelmektedir.

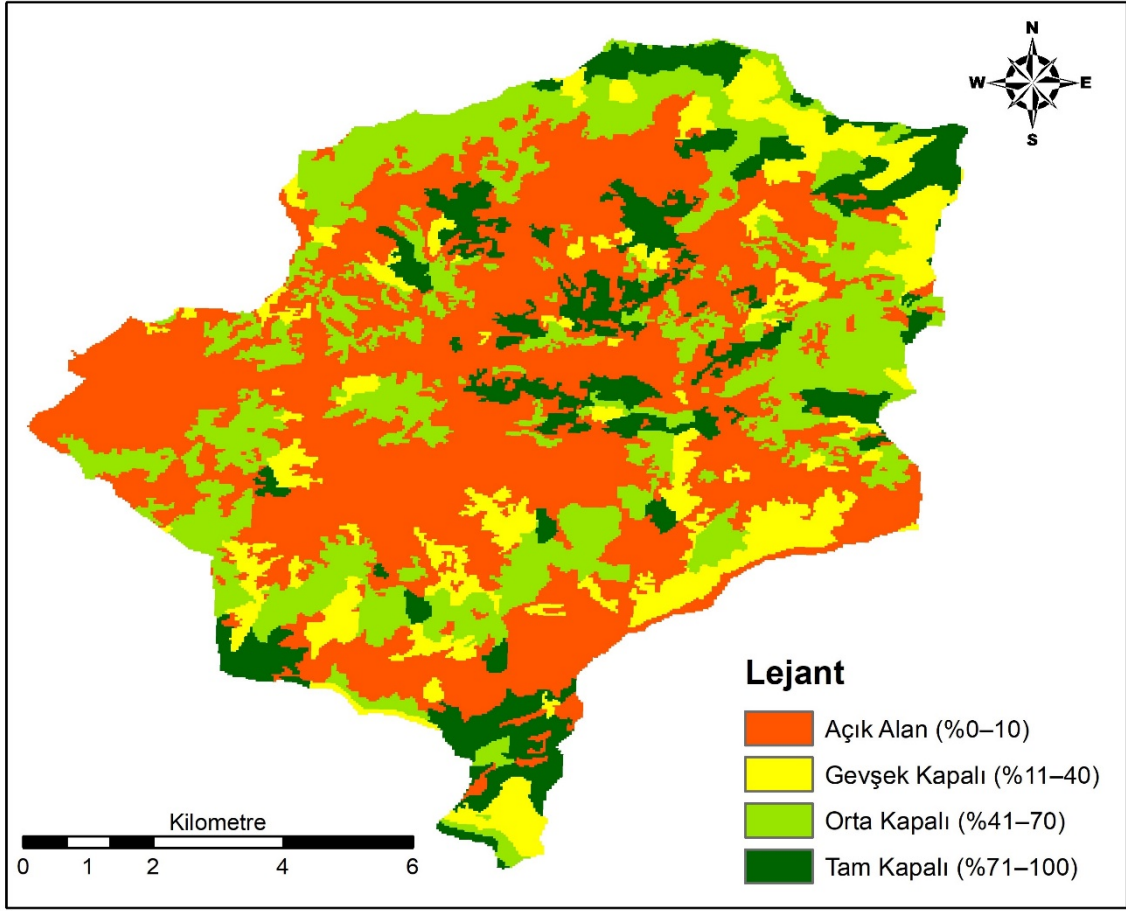
2.12.5 Vejetasyon Örtüsü

Vejetasyon örtüsü, toprak kaybının azaltılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Genel olarak, koruyucu arazi örtüsünün arttığı durumlarda erozyon riski azalmakta, bu da yağmur damlalarının doğrudan etkisinden korunarak toprak üzerindeki infiltrasyon oranını artırmakta ve yüzeysel akış hızını düşürmektedir. Vejetasyonun bozulmaması durumunda, yağış miktarı, eğim derecesi ve toprak özelliklerinden bağımsız olarak erozyon ve yüzeysel akış düzeyleri düşük kalmaktadır (Gündüzoğlu, 2018).

Yüzey erozyonunda, vejetasyon örtüsünün erozyon oluşumuna etkisi, bitki örtüsünün türüne, yoğunluğuna, orman altı bitkilerinin ve diğer organik materyallerin varlığına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. İyi bir vejetasyon örtüsüne sahip arazilerde, yüzeysel akış gecikir. Vejetasyon, koruyucu bir tabaka işlevi görmekte veya atmosfer ile toprak arasında bir tampon bölge oluşturarak, yüzeydeki örtü, yağmur damlalarının ve akan suyun enerjisini emerek, toprağa doğru yönelimini azaltmaktadır (Özsoy, 2007; Gündüzoğlu, 2018).

Bitki örtüsünün kapalılık oranı ile erozyon arasında ters bir ilişki bulunmaktadır. Diğer faktörler sabit kaldığında, kapalılığın yüksek olduğu alanlarda erozyon seviyesi düşük, kapalılığın az olduğu alanlarda ise erozyon şiddeti daha yüksek olmaktadır. Bu bağlamda, bitki örtüsünün toprak üzerindeki kapalılığı arttıkça, toprak da o ölçüde korunmuş olmaktadır (Ekinci, 2004, Gündüzoğlu, 2018).

Bitki örtüsü yoğunluğu ICONA yönteminde, aşağıdaki şekilde dört gruba ayrılmıştır.



Şekil 30. Hopa Deresi Havzası Vejetasyon Haritası

Hopa Dere Havzası’nda vejetasyon kapanım düzeyi mekânsal olarak oldukça heterojen bir dağılım göstermektedir. Harita analizine göre havzanın özellikle orta kesimleri ve yerleşime yakın plato yüzeylerinde Açık Alan (%0–10) sınıfı belirgin şekilde yaygındır. Bu alanlar, erozyona karşı doğal koruyucu bitki örtüsünden yoksun olmaları nedeniyle hem yüzeysel akış hızının artmasına hem de sediment taşınım oranlarının yükselmesine zemin hazırlamaktadır. Dolayısıyla açık alanlar akışa duyarlı mikro havza zonları olarak kritik risk alanlarını temsil etmektedir.

Buna karşın, havzanın vadi tabanlarına yakın kesimler ile kuzey ve güney yamaçlarında Tam Kapalı (%71–100) ve Orta Kapalı (%41–70) sınıflarının yoğunlaştığı görülmektedir. Bu bölgelerde yoğun ormansal örtü, hem yağış–akış dönüşüm oranını azaltmakta, hem de toprak stabilitesini artırarak kütle hareketlerini geciktirici tampon zonlar oluşturmaktadır. Ancak tam kapalı alanların büyük bölümünün yüksek eğimli yamaçlarda bulunması, olası

bir aşırı yağış senaryosunda kök tutunma limitlerini aşan bir kayma yüzeyi oluşumuna da zemin hazırlayabileceği için gizli risk kategorisinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Geçiş zonları niteliğindeki Gevşek Kapalı (%11–40) alanlar, yer yer tarımsal kullanım ya da yarı doğal örtülerden oluşmakta olup hem antropojen baskıya hem de eğim kaynaklı drenaj yoğunlaşmasına açıktır. Bu bölgeler, potansiyel erozyon hızlanma eşikleri olarak tanımlanabilir; özellikle tarımsal faaliyet yoğunluğu yüksek kesimlerde toprak sıkışması ve geçirimsizlik artışı, yüzeysel akış karakterini hızlandırarak çizgisel erozyon ve oluk erozyonu başlangıçları için uygun koşullar yaratmaktadır.

Tablo 5. Vejetasyon Örtüsü Haritasının Alansal Dağılımı

Lejant	Alan (Ha)	Alan(%)
Açık Alan(%0-10)	3651,400168	50,25 %
Gevşek Kapalı(%11-40)	890,3790888	12,25 %
Orta Kapalı(%41-70)	1935,058515	26,63 %
Tam Kapalı(%71-100)	789,932395	10,87 %
Toplam	7267	100 %

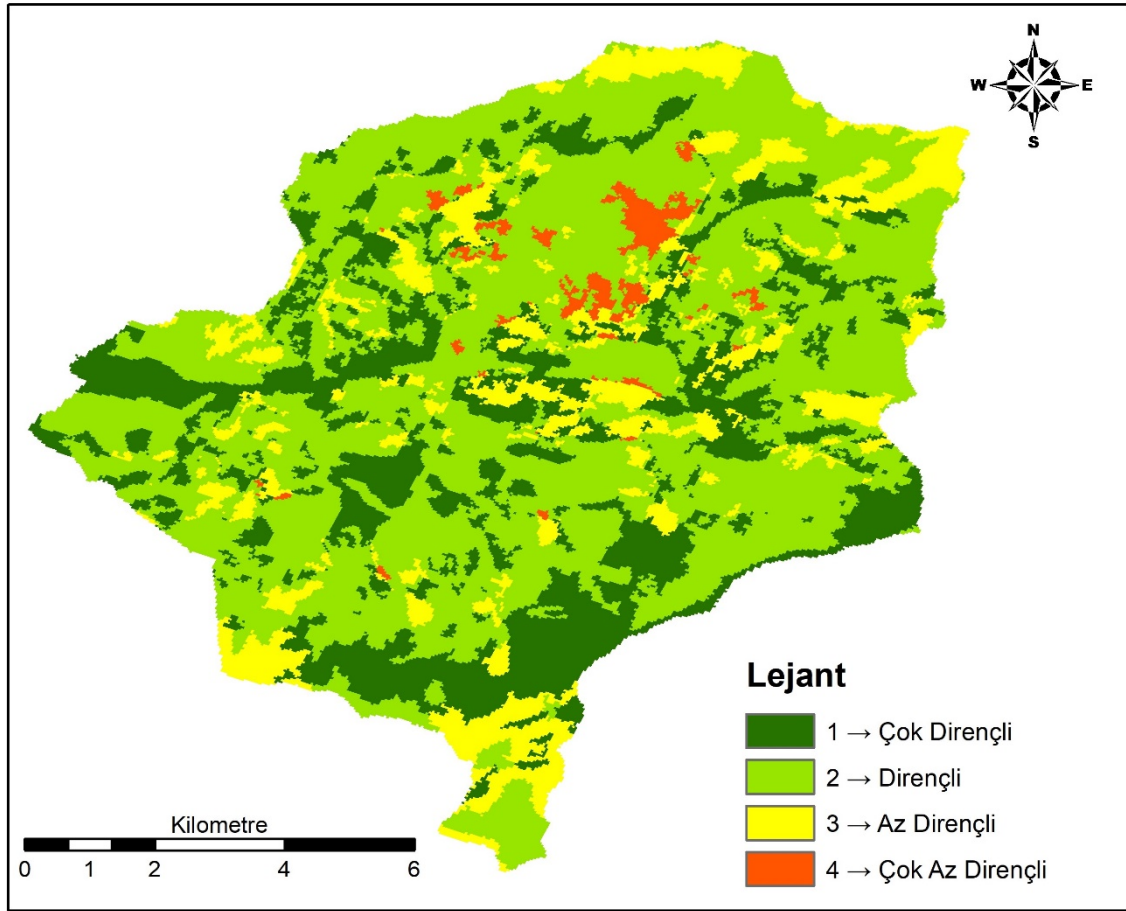
Genel olarak değerlendirildiğinde, havza alanının yaklaşık %62,5'inin (%50,25 + %12,25) açık veya gevşek kapalı alanlardan oluştuğu görülmektedir. Bu durum, bitki örtüsünün toprağı koruma kapasitesinin düşük olduğunu ve erozyon riskinin yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Yoğun vejetasyonun yalnızca sınırlı alanlarda bulunması, özellikle eğimli yüzeylerde yüzey akışı ve toprak kaybı potansiyelini artırmaktadır.

2.12.6 Toprak Koruma

ICONA yöntemi ile erozyon riskinin belirlenmesinde koruma düzeyi olarak tanımlanan fonksiyon uygulama alanının mevcut arazi kullanımı ile bitki örtüsü yoğunluğunun bileşkesidir. Diğer bir ifade ile “toprak koruma haritası” yalnızca arazi kullanımı ve vejetasyon örtüsüne dayandığı ve bu aşamada eğim etkisinin henüz işleme alınmadığı unutulmamalıdır (Şekil 31). Bu nedenle de ilk aşamada, havzada yer alan bitki örtüsü yoğun alanların koruma açısından “yüksek dirençli” görüldüğü anlaşılmaktadır. Ancak

modelin son adımında bu harita, eğim ve jeolojiyle oluşturulan toprak aşınımı katmanıyla birleştirildiğinde, eğimin baskın etkisiyle, bu alanların “orta risk” sınıfı yönüne doğru değişim gösterdiği belirlenmiştir. Başka bir deyişle, burada görülen farkın, modelin hatasından değil de koruma kapasitesinin topografya tarafından dengelenmesinden kaynaklandığı söylenebilir.

Bitki kapallılık durumu ve arazi kullanım sınıfları ICONA yönteminde birlikte değerlendirilerek Koruma Yüzeyi indisini oluşturmaktadır.



Şekil 31. Hopa Deresi Havzası Toprak Koruma Haritası

Tablo 6 . Toprak Koruma Haritasının Alansal Dağılımı

Lejant	Alan (Ha)	Yüzde (%)
1- Çok Dirençli	1821,522	24,32%
2- Dirençli	4453,912	59,49%
3- Az Dirençli	1068,522	14,27%
4- Çok Az Dirençli	143,3416	1,91%
Toplam	7487,298	100%

Çalışma alanında toprak koruma kapasitesine göre yapılan sınıflandırma sonucunda alanın büyük bir bölümünün toprağı koruyucu nitelikteki örtü koşullarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Özellikle Dirençli sınıf %59,49 gibi oldukça yüksek bir oranla havza genelinde baskın arazi örtüsü niteliği göstermektedir. Bu durum, alanın önemli bir kısmında erozyonu sınırlayıcı bitki örtüsü ve arazi kullanım koşullarının mevcut olduğunu ortaya koymaktadır.

Buna ek olarak, Çok Dirençli sınıf %24,32’lik oranıyla yüksek koruma kapasitesine sahip lokal birimlerin varlığını göstermekte, bu alanların çoğunlukla yoğun ve sürekli bitki örtüsüne sahip bölgelere karşılık geldiği değerlendirilmektedir. Bu iki sınıf birlikte ele alındığında, havzanın yaklaşık %84’lük bölümünde toprak korumaya yönelik doğal bir kapasitenin bulunduğu anlaşılmaktadır. Bu oran, çalışma alanının erozyona karşı kendini kısmen dengeleyebilen bir ekolojik yapıya sahip olduğunu göstermesi bakımından önemlidir.

Bununla birlikte, Az Dirençli sınıf %14,27 ile orta düzeyde risk barındıran geçiş alanlarını temsil etmekte olup, bu bölgelerin çoğunlukla bitki örtüsü sürekliliğinin bozulduğu, tarımsal faaliyetlerin görüldüğü veya antropojen baskıların etkili olduğu eğimli yamaç birimlerine karşılık geldiği düşünülmektedir. Çok Az Dirençli sınıf ise yalnızca %1,91 oranında bir dağılım göstermekte ve bu sınıf havzanın erozyona karşı en hassas, acil müdahale gerektirebilecek bölgelerini işaret etmektedir. Söz konusu alanların yamaç erozyonu, yüzey akışı kaynaklı oyuntu oluşumu ve topografik eşiklerin aşınması riskine açık olduğu değerlendirilmiştir.

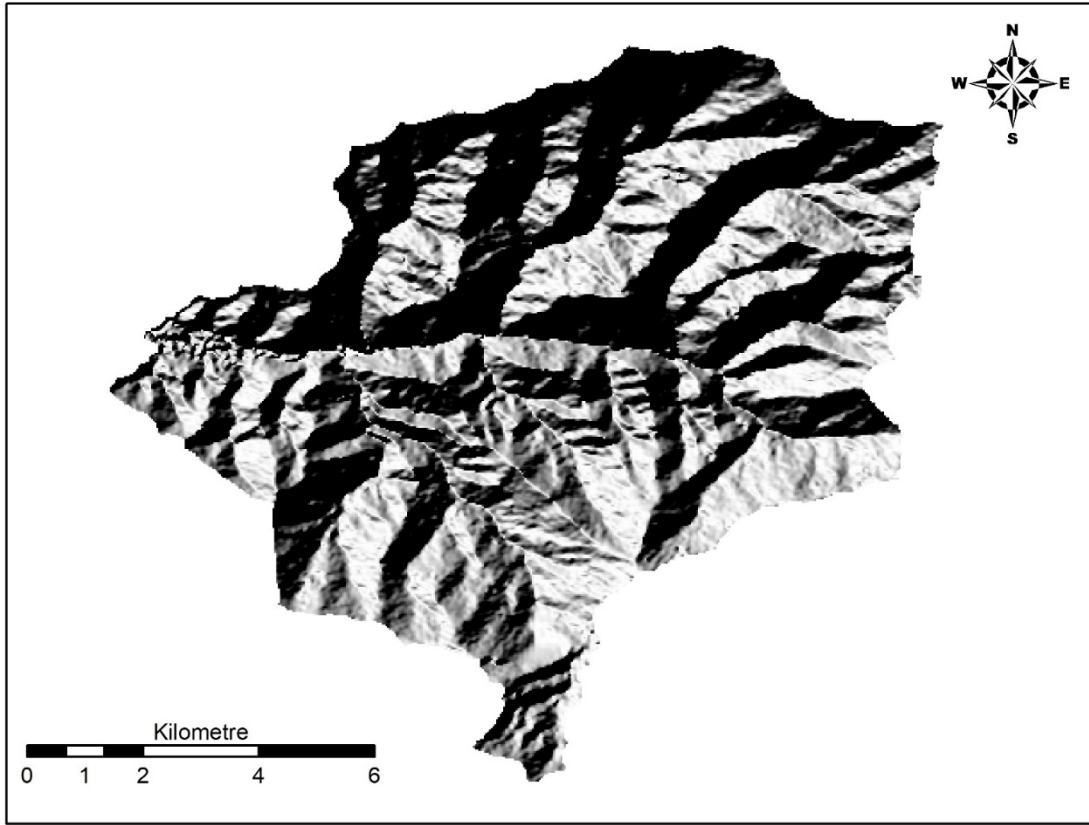
BULGULAR ve TARTIŞMA

Tez çalışmasının ana amaçlarına dayanarak belirlenen ve ortaya çıkarılan bulgular (ağırlıklı olarak haritalar, şekiller ve tablolar halinde), aşağıda alt başlıklar altında verilmiş/sunulmuş ve elde edilen çıktılar benzer literatür çalışmaları ile neden-sonuç bağlamında karşılaştırılmaya çalışılmıştır. Öncelikle çalışma alanının genel morfolojik özelliklerine dair veriler ve haritalara yer verilmiş, daha sonra Hopa Deresi Havzasının toprak erozyonu potansiyeli ICONA Modeli ile tahmin edilerek bir risk haritası üretilmiş ve son olarak da havzadaki erozyon risk dağılımına neden olan faktörler tartışılmıştır.

3.1 Hopa Deresi Havzasının Bazı Morfolojik Özellikleri

3.1.1 Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) (Digital Elevation Model)

Havza deniz seviyesinden başlayarak iç kesimlere doğru 1868 metreye kadar yükselir. Bu dikey yükselti farkı, kısa mesafelerde önemli topografik değişimlerin yaşanmasına neden olur. Yükseklik artışıyla birlikte sıcaklık değerlerinde azalma, yağışlarda artış ve erozyon potansiyelinde artışlara sebep olabilir. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verilerinin analiz edilmesi sonucunda, havzanın ortalama yükseltisinin ise 472 m olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, havzanın topoğrafik çeşitliliğini ortaya koymakta ve hidrolojik ile morfolojik süreçlerin anlaşılmasında önemli bir gösterge niteliği taşımaktadır.



Şekil 32. Hopa Deresi SYM Haritası

3.1.2 Su Akış İstikameti ve Akış Toplamı (Water Flow Direction and Flow Accumulation)

Hopa Deresi Havzası'nda su akış istikameti, morfolojik özelliklerin etkisiyle genellikle güneyden kuzeye doğrudur. Havza içerisinde yüzey akışı, kısa ve dik eğimli akış yollarını takip ederek ana dere kolu olan Hopa Deresi'ne yönelmekte ve Karadeniz'e ulaşmaktadır. Bu durum, bölgenin topografik yapısının akış yönünü belirleyici bir faktör olduğunu göstermektedir. Havza boyunca akış yönü kuzey- kuzeybatı istikametindedir."

Akış toplamı (flow accumulation) analizine göre, ana kol boyunca belirgin bir akış birikimi gözlenmekte olup, bu alanlarda taşkın potansiyeli yüksektir. Özellikle yüksek akış birikimi gösteren bölgeler, ani yağışlarda suyun hızlı bir şekilde toplanarak taşkın riski oluşturabileceği alanlar olarak değerlendirilmektedir.

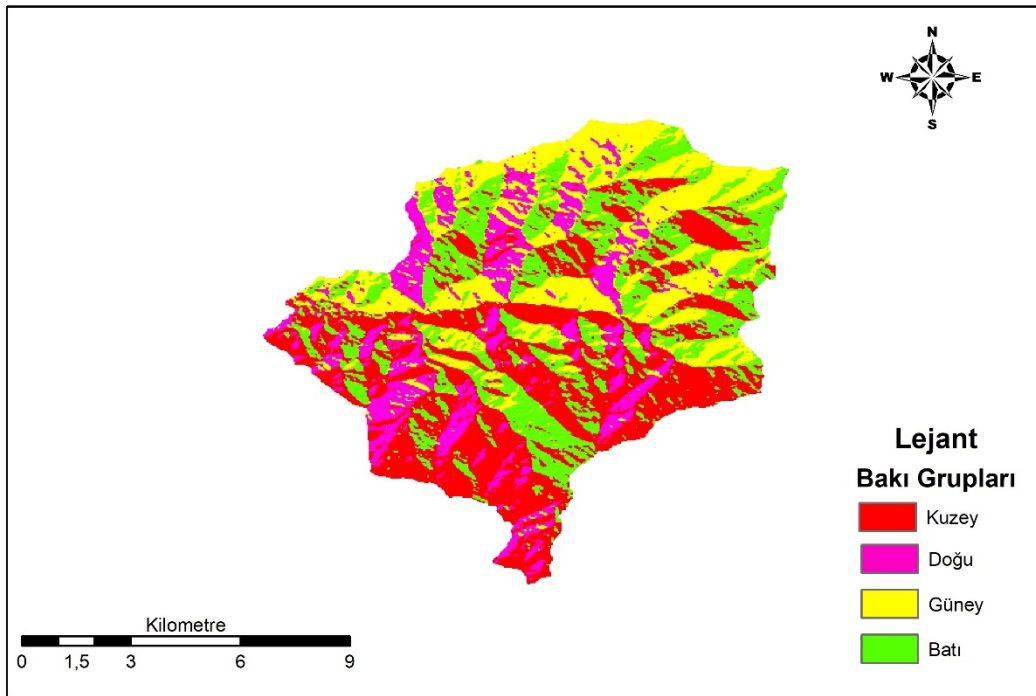
3.1.3 Havza Sınırları (Watershed Boundaries)

Havzanın dar ve eğimli yapısı nedeniyle akış yönü genellikle kısa mesafede denize ulaşacak biçimdedir. Havzanın çevre uzunluğu 42396 km ölçülmüştür. Yamaçlardan

gelen yüzey akışları, ana kol olan Hopa Deresi'ne bağlanarak kuzeyde Karadeniz'e boşalır.

3.1.4 Bakı (Yöney) Dağılımı (Aspect Distribution)

Hopa Dere Havzası'nın coğrafi konumu, kuzeye bakan yamaçlarının güneye bakanlara göre daha yüksek miktarda yağış almasını sağlamaktadır. Bu durum, kuzey yamaçlarında yer alan Hopa Deresi'nin daha yoğun akış rejimine sahip olmasına ve daha yüksek hidrolik enerji potansiyeli göstermesine zemin hazırlamaktadır (Çetinkaya, 2020). Hopa Deresi Havzası'nda kuzey, kuzeydoğu ve kuzeybatı bakılı yamaçlar ağırlıktadır.



Şekil 33. Hopa Dere Havzası Bakı Haritası

Elde edilen haritada; Güneye bakan yamaçların (sarı) genel bağlamda daha fazla güneşlenmeye maruz kaldığı, bu nedenle buharlaşma ve kuraklaşma eğiliminin bu yamaçlarda yüksek olduğu bilinmektedir. Bu özelliklerle bağlantılı olarak da bu yamaçlarda bitki örtüsünün daha seyrek olabildiği ve dolayısıyla toprak erozyonu potansiyelinin artacağı tahmin edilir.

Kuzeye bakan yamaçlar (kırmızı) ise daha az güneşlenme nedeniyle nemli kalırlar. Nemli ortam bitki örtüsünü destekler, bu yüzden güney bakıların aksine bu yamaçlarda toprak erozyon riski genellikle daha düşüktür. Ancak, kuzey yamaçlarda da yağış ve nem fazlalığı özellikle çok dik yamaçlarda stabilite sorunlarına neden olabilir.

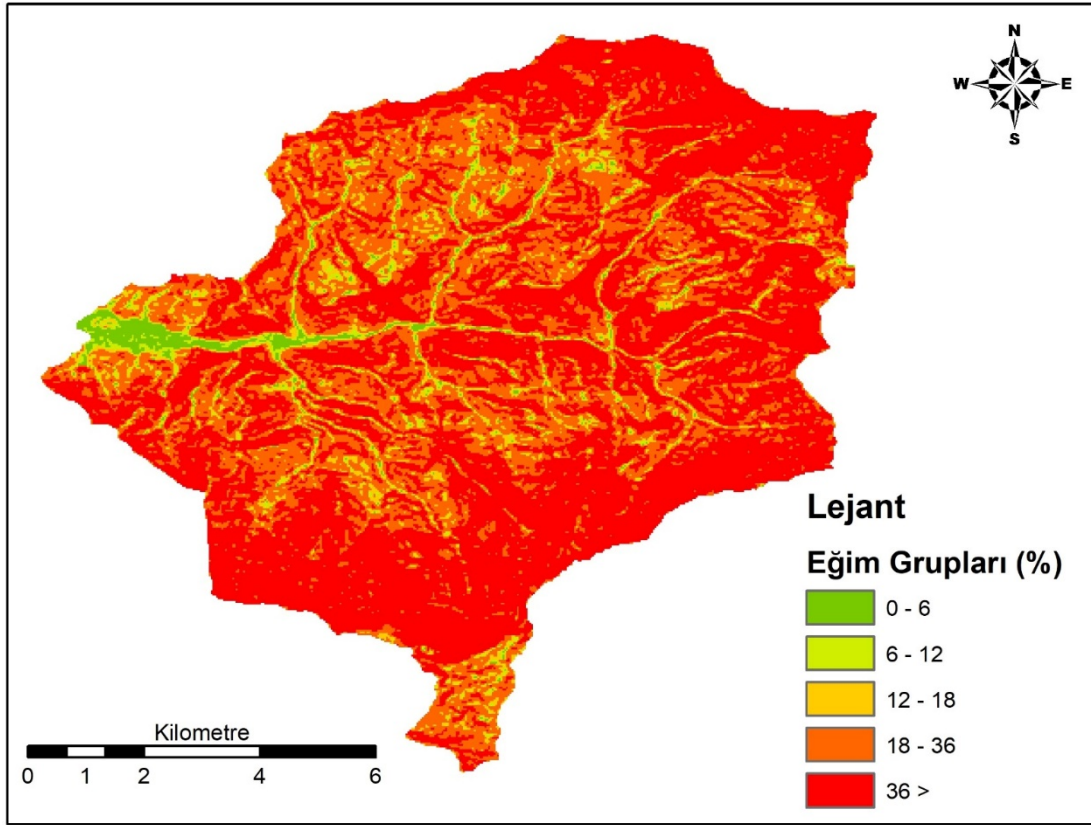
Doğuya bakan yamaçlar (mor) sabah güneşini alır, öğleden sonra gölgede kalır. Nem dengesi genellikle korunur. Orta düzeyde erozyon potansiyeli taşıyabilir.

Batıya bakan yamaçlar (yeşil) öğleden sonra daha uzun süre güneşlenir, yazın kuraklık riski artabilir. Bitki örtüsü gerileyebildiği için erozyon potansiyeli güney yamaçlara benzer şekilde yükselebilir.

Bakı grupları incelendiğinde, güney (sarı) ve batı (yeşil) yamaçların havzada geniş alan kapladığı görülmektedir. Bu yamaçlar, daha fazla güneşlenme aldıklarından dolayı nem kaybı ve bitki örtüsünde seyrelme eğilimi göstermekte; dolayısıyla erozyon riski açısından daha hassas zonlar oluşturmaktadır. Kuzey bakılı (kırmızı) yamaçlar ise daha az güneşlenme nedeniyle nemli kalmakta, yoğun orman örtüsünü desteklemekte ve bu sayede erozyona karşı nispeten korunaklı alanlar meydana getirmektedir. Doğu bakılı (mor) yamaçlar ise akarsu vadileri boyunca yoğunlaşmakta olup sabah güneşi ile ısınan, öğleden sonra gölgede kalan bir mikroklimaya sahiptir. Genel olarak havzanın bakı dağılımı, erozyon riskinin güney ve batı yönlü yamaçlarda daha yüksek, kuzey yönlü yamaçlarda ise daha düşük olabileceğini göstermektedir.

3.1.5 Eğim Özellikleri (Slope Features)

Hopa Deresi Havzası oldukça yüksek eğimli bir topoğrafyaya sahiptir. Tablo 7’de de görüldüğü üzere, %12 eğimin üzerindeki alanlar havza genelinin %86,04’ünü oluşturmaktadır. Bilindiği üzere, ülkemizde ve dünyanın birçok bölgesinde, tekniğine uygun tarımsal faaliyetlerin yürütülebilmesi için eğimin genel olarak %12’nin (bazı kaynaklarda %15’in) altında olması önerilmektedir. Doğu Karadeniz Havzası’nda olduğu gibi, çalışma alanı olan Hopa Deresi Havzası’nda da çay, fındık ve diğer tarımsal faaliyetlerin büyük ölçüde yüksek eğimli arazilerde gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu yüksek eğim koşulları, bölgenin yüksek yağış ortalamasıyla birleştiğinde, infiltrasyon kapasitesinin kısa sürede azalmasına, yüzeysel akış miktarı ve su hızının artmasına, dolayısıyla toprak erozyonu riskinin önemli ölçüde yükselmesine neden olmaktadır.



Şekil 34. Hopa Deresi Havzası Eğim Haritası

Tablo 7. Hopa Deresi Havzası Eğim Sınıfları Alan Dağılımı

Eğim Grubu (%)	Alan (m ²)	Oran (%)
0-6	2,777,689	3.76 %
6-12	7,522,438	10.19 %
12-18	15,298,740	20.73 %
18-36	43,378,531	58.79 %
36+	4,808,552	6.52 %
Toplam	73,785,950	100 %

Düşük eğimli alanlar ise toplamda sadece %13,95 gibi oldukça sınırlı bir oranda olduğu için tarım, yerleşim veya altyapı gibi insan faaliyetleri açısından kullanılabilir arazinin

çok kısıtlı olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 34 ve Tablo 7’den de görüleceği üzere Hopa ilçesinin eğim değeri genel olarak oldukça yüksektir. Bu durum, ilçedeki yerleşim alanları oluşturulurken, geçmişte orman, mera, çayır ve dere kenarında yetişen doğal bitki örtüsü tahrip edilmesine ve böylece dağınık yapılaşmaya şekline neden olunmuştur. Burada en büyük dönüşüm ise yerel halka alternatif bir ekonomik gelir sağlamak amacıyla özellikle eğimli yamaçlarda bulunan ormanların çay ve fındık tarımına dönüştürülmesi olmuştur

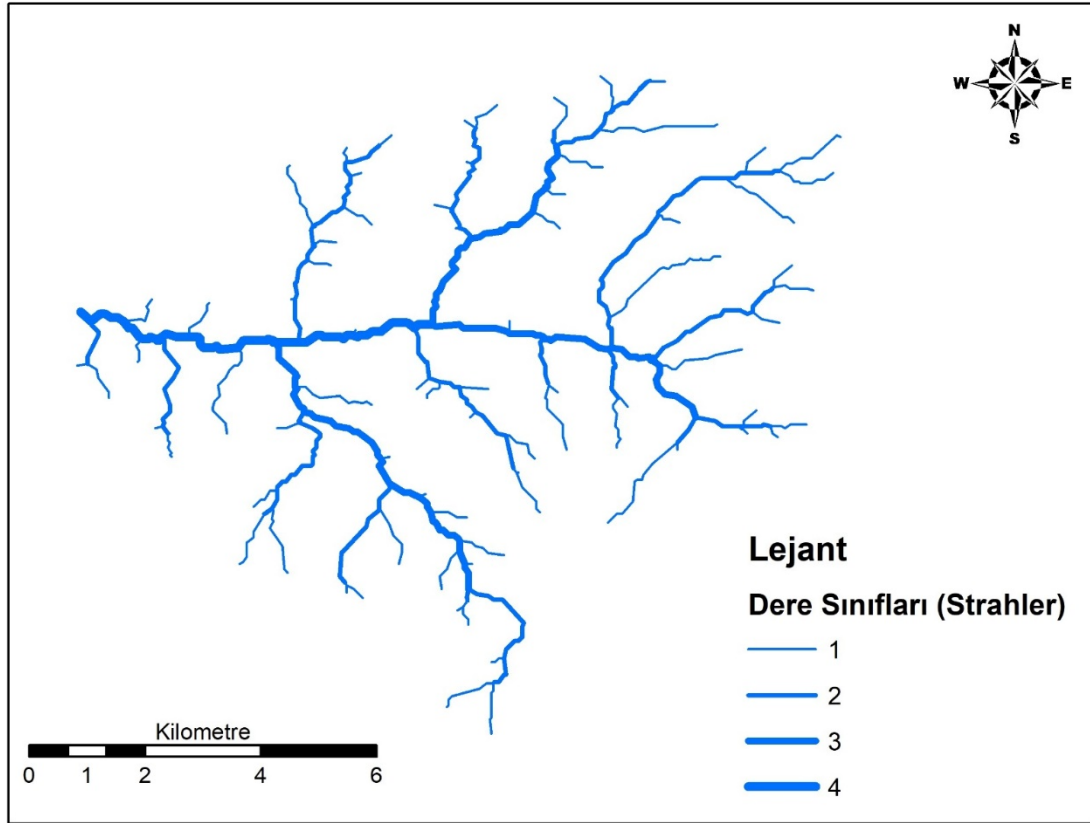


Şekil 35. Hopa İlçesindeki Eğimli Yamaçlarda Yapılan Çay Tarımından Bir Görünüm

Yüksek eğimli arazilere dikilerek ciddi büyüklükte alanlara ulaşan çaylık alanlar, orman örtüsünün aksine yüksek yağışlarla akışa geçen yüzey sularını toprağa sızdırmada yeterli olamamış ve bu durum zaman zaman sel, taşkın ve heyelan olaylarının meydana gelmesine neden olmuştur.

3.1.6 Drenaj Güzergâhı (Drainage Route)

Hopa Deresi ve yan kolları, havza genelinde dentritik (dallar gibi ayrılan) bir drenaj ağı oluşturur. Hopa Deresi Havzası dizinleri belirlenirken, çatallanma oranı Strahler metodu ile hesaplanmıştır.



Şekil 36. Hopa Deresi Havzası Dere Ağı Haritası

Drenaj güzergahı ve dere sınıflarını gösteren Şekil 36 irdelendiğinde, Hopa Deresi Havzası'nda iyi gelişmiş ve dallanmış bir dere ağının mevcut olduğu görülmektedir. Çalışma alanı için belirlenen dere sınıfları haritası, Şekil 34'de yer alan eğim haritası ile ilişkilendirildiğinde;

1. derece dereler genellikle 18% ve üzeri eğim gruplarında yer alırken, yüksek eğimli arazilerden gelen yüzey akışı bu kollarla birleşerek, alt derecelere ve sonunda ana kol olan 4. derece dereye ulaşır. Bu süreçte toprak taşınması, erozyon ve sediment taşınımı gibi süreçler de devamlı olarak meydana gelir.

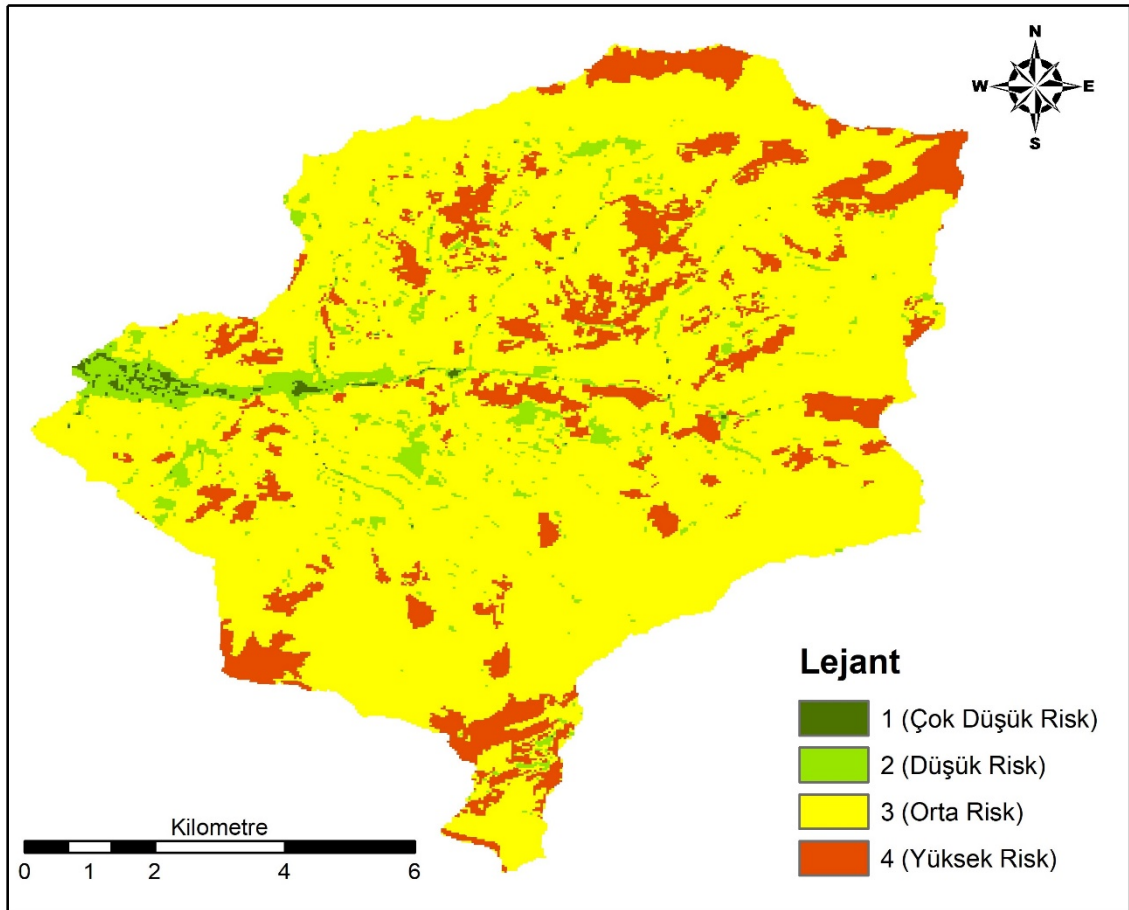
Havza hem hidrolojik olarak aktif hem de topografik olarak dik eğimli olduğu için toprak erozyon riski ve potansiyelinin çok yüksek olduğu, bu nedenle de havzadaki dereler

tarafından taşınan malzeme miktarının da oldukça fazla olduğu söylenebilir. Söz konusu haritalar arasında yapılan karşılaştırmada, sel ve taşkın riskinin özellikle 3. ve 4. derece dereler çevresinde yoğun olabileceğini göstermektedir. Bunlara ek olarak, dere ağının düzenli ve hiyerarşik yapısı, havzanın olgunlaşmış bir jeomorfolojik evrede olduğunu da göstermektedir.

3.2 Hopa Deresi Havzasının Erozyon Risk Durumu

3.2.1 Erozyon Risk Haritası

ICONA modelinin son aşamasında, CBS ortamında elde edilen toprak aşınabilirlik ve toprak koruma verileri birleştirilmiştir. Bu süreç sonucunda, çalışma sahası beş farklı kategoride (çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek) sınıflandırılarak bir erozyon duyarlılık haritası oluşturulmuştur (Karakoca 2025)



Şekil 37. Hopa Deresi Havzasında Erozyon Risk Durumu Dağılım Haritası

Şekil 37’teki dağılım haritası genel olarak irdelendiğinde, Hopa Deresi Havzasının alansal açıdan önemli bir kısmında (%81.20) 3. derece (sarı renk) ile temsil edilen orta seviye erozyon riskinin ilk sırada çıktığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Malatya ilinin erozyon riskini belirlemek için ICONA yöntemi kullanılarak yapılan çalışmada da il genelinde %64.99 ile orta seviye erozyon riskinin ilk sırada belirlendiği raporlanmıştır (Bilgiç ve Er, 2025).

Tablo 8. Erozyon Risk Haritasının Alansal Dağılımı

Lejant	Alan (ha)	Yüzde (%)
1- Çok Düşük Risk	32.53	0.44%
2- Düşük Risk	345.28	4.67%
3- Orta Risk	6007.83	81.20%
4- Yüksek Risk	1013.37	13.70%
Toplam	7 398.01	100%

Hopa Deresi Havzasında, yüksek oranda erozyon riskinin ise %13’ün biraz üstünde ikinci sırada yer aldığı görülmektedir (Tablo 8). Özellikle yüksek risk grubunda ortaya çıkan bu ciddi erozyon olasılığı oranlarını, havzada eğimi ve topoğrafyası tarıma uygun olmayan yamaçlarda süregelen çay tarımına bağlamak mümkündür.

Yine ICONA modelinin uygulandığı Gümüşhane’nin Harşit Çayındaki benzer bir araştırmada ise yüksek ve çok yüksek erozyon duyarlılığına sahip alanların oran olarak %38’in üzerinde belirlendiği ve bizim çalışmamızdaki oranlarla paralel bir eğilim gösterdiği ortaya çıkmıştır. Ancak, Harşit Çayındaki yüksek erozyon duyarlılığı oranının yüksek yağış ve eğim faktörlerinden ziyade özellikle havzasının yukarı bölümlerinde hem oransal hem de kapalılık açısından düşük seviyede olan orman örtüsünden kaynaklandığı bildirilmiştir (Hatipoğlu ve Hatipoğlu, 2020).

Son olarak, Hopa Deresi Havzası genelinde, düz ve düze yakın yamaçların az olduğundan, toplamda çok düşük ve düşük erozyon riskine sahip alanların sadece %5.31 ile sınırlı kalması beklenen bir sonuç olarak görülebilir. Benzer şekilde çok yüksek erozyon risk potansiyeli olan alanların ise sadece %13.70 gibi düşük bir oranda kaldığı modellenmiştir. Bunun da Hopa Deresinin şehire ve havza çıkışına yakın olan

kısımlarında, muhtemelen insan faaliyetleri (yerleşim, yol, vb.) ile tahrip olmuş dere kenarlarındaki kanal erozyonuyla sınırlı kaldığı söylenebilir (Şekil 37).

Ankara Çubuk Havzası'nda ICONA modeli kullanılarak gerçekleştirilen bir çalışmada, alanın %30'undan fazlasının yüksek erozyon riski taşıdığı, %39,26'lık bir kısmında ise orta düzeyde erozyon riski bulunduğu belirlenmiştir. Havza genelinde ormanlık alanların geniş bir yer kapladığı tespit edilmiştir. Üretilen erozyon risk haritası doğrultusunda, yüksek riskli bölgelerin çoğunlukla mansap kesiminde ve eğimin fazla olduğu mera ile kuru tarım alanlarında yoğunlaştığı belirtilmiştir (Ediş, vd, 2021). Benzer şekilde, Hopa Deresi Havzası'nda da özellikle mansap kesimi ile birlikte, eğimin düşük olmasına rağmen dere kenarına yakın yerleşim ve tarım alanlarında erozyon riskinin yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 38). Bu durumun, Hopa Deresinin özellikle çıkışa yakın kesimlerinde DSI ve Karayollarının ilgili birimleri tarafından yapılan ıslah çalışmaları ile yerel halkın derelerin su kenar çizgisini hiçe sayarak akarsuların yatağına sınır alanlarda yerleşim, çay tarımı ve yol vb. insan faaliyetleriyle yakından ilişkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 38. Dere Yatakları İçinde/Yakınında Yapılan Hatalı Yapılaşma ve Ulaşım Yolu
(Borçka, Artvin)

Kıyı Ege Bölümü'nde ICONA erozyon risk yöntemi kullanılarak yapılan bir çalışmada, alanın %23'ünün şiddetli, %9'unun ise çok şiddetli erozyon riski taşıdığı belirlenmiştir. Çalışmada graben tabanlarının ise orta derecede erozyon riski altında olduğu saptanmıştır. Ancak bu alanlar düşük eğimli sahalar olduğundan, aşınma ve taşınma süreçlerinden ziyade birikim faaliyetlerinin yoğunlaştığı kesimlerdir. Bu nedenle, yöntemde özellikle eğim parametresine verilen ağırlıkların yeniden düzenlenmesi gerektiği ve bu sayede erozyon risk haritalarının daha gerçekçi sonuçlar ortaya koyabileceği ifade edilmektedir. ICONA yöntemi geniş alanların değerlendirilmesinde önemli bir araç olmakla birlikte, özellikle eğim ve bitki örtüsü kapalılığının düşük olduğu graben tabanları ve ovalarda erozyon riskini olduğundan yüksek göstermektedir. Bunun yanı sıra, yöntemin yağış verilerini dikkate almaması da önemli bir sınırlılık oluşturmaktadır. Nitekim, Menteşe yöresinde eğimli ve çıplak araziler yüksek erozyon riski altında bulunmakla birlikte, yağışın etkisi bu durumu daha da artırmaktadır. Yağış parametresinin değerlendirmeye dahil edilmemesi, yöntemin sonuçları ile arazide gözlenen süreçler arasında uyumsuzluklara neden olmaktadır. Dolayısıyla, yağış faktörünün de dikkate alındığı bir yöntem geliştirilmesi, ICONA yaklaşımının mevcut koşullarla daha uyumlu ve güvenilir sonuçlar üretmesine katkı sağlayacaktır (Gündüzoğlu, Çukur, 2018). Kıyı Ege'deki çalışmada olduğu gibi büyük sınırlılıklar gözlenirse de Hopa Deresi Havzası'nda yürütülen incelemeler havzanın dik yamaçları, kısa mesafelerde değişen topoğrafyası (Şekil 39) ve yoğun yağış koşullarının erozyon riskini belirgin biçimde artırdığını ortaya koymaktadır. ICONA yöntemi bu koşullarda riskin genel dağılımını gösterebilse de yağış verilerinin değerlendirme dışında kalması, model sonuçlarının sahadaki süreçleri tam olarak yansıtmasını zorlaştırmaktadır. Ayrıca, yerleşim alanlarının vadi tabanlarında yoğunlaşması ve eğimli yamaçların fazlalığı, yöntemin eğim ve kapalılık parametrelerine verdiği önemin Hopa özelinde daha kritik hale gelmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, yağış ve arazi kullanımına ilişkin verilerin de yöntemle bütünleştirilmesi, elde edilen risk haritalarının güvenilirliğini artıracak ve saha koşullarına daha uyumlu sonuçların elde edilmesine katkı sağlayacaktır.



Şekil 39. Cankurtaran Geçidinden Hopa Deresi Havzasının Orta Bölümlerine Bakış

Erozyon Risk Durumuyla Bağlantılı Yaşanabilecek Olumsuzluklar

Havzanın doğal özellikleri ile beşeri faaliyetler bir arada değerlendirildiğinde, erozyon riskini artıran birçok faktörün bulunduğu görülmektedir. Toprak, uzun bir oluşum sürecinin ürünü olarak doğal bir kaynak niteliği taşımakta ve üzerinde yaşayan tüm canlılar için geçmişte olduğu gibi bugün ve gelecekte de yaşamsal bir öneme sahiptir. Bu özelliğiyle toprak, hem insanlar hem de diğer canlılar için temel bir beslenme ve barınma zemini oluşturmaktadır. Ancak özellikle son yüzyılda artan yanlış ve amaç dışı arazi kullanımları ile erozyon riski yüksek alanlarda koruyucu tedbirlerin yetersizliği, toprakların kısa sürede ve büyük miktarlarda aşınarak taşınmasına yol açmaktadır. Bu durum, doğal kaynağın sürdürülebilir kullanımını tehdit etmekte; ayrıca erozyon ve iklim değişikliği birlikte değerlendirildiğinde çölleşme ve arazi bozulumunu tetikleyen başlıca faktörler arasında yer almaktadır (Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016). İklim koşulları, topografik yapı ve ana materyal özellikleri dikkate alındığında, yalnızca 1 cm kalınlığında bir toprak tabakasının oluşabilmesi için 100 ile 1000 yıl arasında oldukça uzun bir zaman

dilimine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, bir yıl içerisinde meydana gelen 1 mm'lik yüzey erozyonu dahi son derece önemli ve göz ardı edilemeyecek bir kayıp olarak değerlendirilmektedir. Şiddetli erozyon sonucunda kaybedilen toprak, yalnızca bölgedeki flora ve fauna çeşitliliğinin azalmasına yol açmakla kalmayıp aynı zamanda doğal su kaynaklarının kirlenmesine ve bu kaynaklarda yer alan sucul ekosistemlerin ciddi biçimde zarar görmesine neden olmaktadır (Tüfekçioğlu ve ark., 2012). Ülkemizde tarımsal üretim potansiyelinin giderek azalmasına paralel olarak, her yıl yaklaşık 500–1000 milyon ton arasında toprağın akarsular ve denizlere taşındığı çeşitli kaynaklarda rapor edilmektedir (Çakal ve ark., 1997; UNCCD, 2006; TEMA, 2015; Tüfekçioğlu, Yavuz, 2016). Ülkemizde büyük boyutlara ulaşan erozyonun başlıca doğal nedeni, ortalama yüksekliği 1132 m olan dağlık arazi yapısı ile buna bağlı olarak gelişen yüksek topografik eğim değerleridir (Tüfekçioğlu, Yavuz, 2016). Yüksek eğimli ve engebeli topografya, ayrışmaya uğramış magmatik kayalardan oluşan arazi örtüsü, parçalı yerleşim düzeni, nemli ve ani sağanak yağışların görüldüğü iklim koşulları ve nemli orman örtüsü, erozyon süreçlerini hızlandıran başlıca unsurlar arasında yer almaktadır. Ayrıca, vadi tabanının yerleşim alanları ve ulaşım ağları tarafından işgal edilmesi, dere yatağının daralmasına ve akarsu içerisinde atık birikimine de yol açmaktadır. Bununla birlikte, genel anlamda erozyonun yoğun olduğu yamaçlarda ve toprağın taşındığı ve biriktiği dere yataklarında farklı olumsuzluklara neden olduğu bilinmektedir ki bunlardan özellikle Doğu Karadeniz Havzası bağlamında yaşanan olumsuzluklardan bazıları aşağıda nedenleriyle birlikte açıklanmaya çalışılmıştır.

3.2.2.1. Toprak Kaybı

Topografya ve iklimin etkisiyle ayrışmaya uğramış zemin, suyun sızmasına imkân tanıyarak erozyonu kolaylaştırmaktadır. Güney bakıya sahip yamaçlarda güneşlenme süresinin fazla olması, ayrışma süreçlerini hızlandırmakta ve erozyon olasılığını artırmaktadır. Bunun yanı sıra, arazi kullanımındaki hatalar da erozyon sürecini şiddetlendirmektedir. Ormanlık alanların yerleşim ve tarım sahalarına dönüştürülmesi, dere kenarlarında sanayi faaliyetlerinin gelişmesi, özellikle çok dik ve engebeli alanlarda erozyon riskini en üst düzeye çıkarmaktadır.

%12 ve üzeri eğime sahip alanlar, Hopa Deresi Havzası'nın %86.04'ünü kapsamaktadır. Havzanın çok büyük bir kısmı (%86'dan fazlası), orta ve yüksek eğimli arazilerden oluşmakta; bu durum, doğal erozyon riskinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir.

Yüksek eğimli bu alanlarda; yağmur suları toprağı daha hızlı aşındırır. Yüzey akışı artar, infiltrasyon (suyun toprağı sızması) azalır. Bitki örtüsünün zayıf olduğu alanlarda şiddetli yüzey erozyonu meydana gelebilir.

3.2.2.2. Sel ve Taşkınlar

Çalışma alanı olarak seçilen Hopa Deresi Havzasının ülkemizin en fazla yağış alan bölgesi olan Doğu Karadeniz Havzası bünyesinde yer aldığını daha önce belirtmiştik. Bu durum, havzamızın, özellikle kuzeye bakan yamaçlarında orografik etkiyle beraber daha fazla yağış almasına, hidrolojik açıdan daha dinamik bir yapıya sahip olmasına neden olmaktadır. Diğer bir ifade ile Hopa Deresi'nin kuzey yamaçlarında daha sık ve enerjik akışların gözlenmesi neticesinde sel ve taşkınların da sıkça meydana gelmesi anlamına gelmektedir.

Kaynak ile mansap arasındaki belirgin yükselti farkı, akarsuyun yüksek akımlarla taşınmasına ve afet durumlarında büyük miktarda malzeme transferine neden olmaktadır. Vadi tabanının en geniş kısmı mansap bölümünde yer almakta olup, eğimin azalması nedeniyle bu kesimde yerleşim alanları da yoğunluk kazanmıştır. Örneğin, mansap bölümünde inşa edilen Karadeniz Sahil Yolu nedeniyle olası bir aşırı yağış ile afet boyutlarına ulaşan sel/taşkın olaylarının meydana gelmesi riski oldukça yüksektir.



Şekil 40. 22-24 Ağustos 2015 tarihlerinde Karadeniz Sahil Yolunu da Etkileyen Taşkın

Burada, 22-24 Ağustos 2015 tarihlerinde Hopa başta olmak üzere Arhavi ve Borçka ilçelerini de etkileyen büyük felaketlerden biri örnek olarak verilebilir. 24 Ağustos 2015 tarihinde, Hopa Deresi Havzasında olağanüstü bir meteorolojik olay yaşanmıştır. Saat 14:30 civarında başlayan yoğun yağış, birkaç saat içinde metrekaresine yaklaşık 255 litre olarak düşmüş büyük çaplı bir sel ve taşkın afeti meydana gelmiştir.

Yoğun yağış sonrası dere yatağından taşan sel suları, istinat duvarlarını aşarak ana yolları ve yerleşim alanlarını su altında bırakmıştır. Su birikintileri, özellikle eğim değeri düşük olan batı kesimindeki vadi tabanlarında yoğunlaşmıştır. Bu alanlarda taşkın suları göllenmiş ve eğimin artmaya başladığı bölgelere kadar ilerlemiştir.



Şekil 41. Hopa Tır Parkında Ağustos 2015'te Meydana Gelen Taşkın Sonrası Görüntü

Taşkın sularının çekilmesinin ardından, akarsuyun taşıdığı rüsubat, çamur ve çeşitli alüvyonlar yerleşim alanlarında birikmiş ve maddi zararı artırmıştır. Meydana gelen afet sonucunda ciddi düzeyde maddi kayıplar yaşanmış; ayrıca 11 kişi yaşamını yitirmiştir. Bu durum, afetlerin sadece ekonomik değil, aynı zamanda insanî boyutlarda da yıkıcı etkiler doğurduğunu göstermektedir.



Şekil 42. 22-24 Ağustos 2015 Tarihlerinde Meydana Gelen Taşkın (Borçka)

3.2.2.3. Heyelan ve Diğer Kütle Hareketleri

İnce taneli (kil ve kum ağırlıklı) malzemelerden oluşan jeolojik yapı, kalın bir örtü ile birlikte yüksek eğim değerleri göstermektedir. Bu özellikler, havzada kütle hareketlerinin gelişmesinde temel etkenlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, tarım alanlarının tahrip edilmesi, yerleşim alanlarının oluşturulması sürecinde orman ve doğal bitki örtüsünün yok edilmesi, kütle hareketlerinin artışında belirleyici rol oynamaktadır. Havzada dik ve dikeye yakın yamaçların yoğunluğu da bu süreci hızlandırmaktadır. Bu afetlerden biri de Hopa Deresi Havzasının güney sınırına komşu olan Borçka ilçesinde 24 Eylül 2009’da meydana gelmiştir. Aslında Hopa, Arhavi ve Şavşat ilçelerini de etkileyen o tarihteki şiddetli yağışlar.

Borçka’da bazı yerleşim alanlarının çökmesine sebep olmuştur. Yoğun yağışlarla birlikte gelişen taşkın akışı, beraberinde getirdiği rüsubatla akarsu güzergâhında ciddi deformasyonlara yol açmış, özellikle kıyıya yakın yollar, yerleşim alanları ve dik yamaçlar üzerinde yıkıcı etkiler yaratmıştır.



Şekil 43. 24 Eylül 2009’da Meydana Gelen Heyelan (Düzköy-Borçka)

Yaşanan sel felaketi heyelanları tetiklemiş Hopa-Artvin yolu tahrip olmuştur. Bu maddi zararların yanında en önemlisi de yine 5 insan hayatını kaybetmiştir.

Türkiye’de iklim krizinin etkileri, özellikle aşırı hava olaylarının sıklığı ve şiddetindeki artışla birlikte giderek daha görünür hâle gelmektedir. Bu kapsamda, bölgede benzer nitelikteki afetler düzenli aralıklarla yaşanmakta olup, yukarıda sunulan belirli tarihlerdeki afetler bu afetlerin sınırlı bir kısmını temsil etmektedir.



Şekil 44. Türkiye Geneli Meteorolojik Afet Dağılım Grafiği (1940-2021)

2024 yılı, Türkiye'de iklim değişikliğinin etkilerinin en belirgin hissedildiği yıllardan biri olmuştur. Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre, bu dönemde ülke genelinde toplam 1257 aşırı hava olayı meydana gelmiştir. Bu sayı, 1940 yılından bu yana kaydedilen en yüksek ikinci aşırı hava olayı sayısı olarak kayda geçmiştir. Son dört yıllık süreçte aşırı hava olaylarının sayısı sürekli artış göstermekte olup, son iki yıldır bu sayı 1200'ün üzerinde seyretmektedir.

Aynı zamanda 2024, Türkiye'de son 54 yılın en yüksek ortalama sıcaklığına sahip yılı olarak kaydedilmiştir. Ülke genelinde yıllık ortalama sıcaklık, 1991-2020 iklim normallerinin 1,7°C üzerine çıkarak 15,6°C olarak ölçülmüştür. Özellikle kış ve yaz mevsimleri, bugüne kadar kaydedilen en sıcak dönemler arasında yer almıştır. Bu durum, küresel iklim krizinin bölgesel etkilerini açıkça yansıtmaktadır.

Kayda geçen aşırı hava olaylarının dağılımı incelendiğinde, en yüksek oranı şiddetli yağış ve sel olaylarının oluşturduğu görülmektedir (%35). Bunu fırtına (%20), dolu yağışı (%18) ve kar yağışı (%9) takip etmektedir. Ayrıca yıldırım düşmesi olaylarının oranı %8, hortumların oranı ise %2 olarak belirlenmiştir. Bu veriler, Türkiye'de iklim değişikliğinin hem sıcaklık değerleri hem de meteorolojik ekstrem olaylar açısından etkilerini belirgin şekilde artırdığını göstermektedir (Ekosfer, 22/02/2025).

Bölgede gözlemlenen afetlerin başlıca nedenleri, aşağıda bilimsel literatür ve mevcut veriler doğrultusunda sıralanmıştır.

- Ormanlık alanların tarım alanlarına dönüştürülmesiyle doğal ekosistemin bozulması, toprak koruma kapasitesini azaltmakta ve erozyon ile heyelanlara zemin hazırlamaktadır.
- Çay ve fındık tarımı amacıyla yapılan arazi kullanım değişiklikleri, toprağı iyi tutmayan kök yapısı nedeniyle yüzey akışını ve kütle hareketlerini artırmaktadır.
- Dere yataklarına çok yakın, hatta bazen derenin içerisinde yapılan bina ve yollar, suyun doğal akışını engellemekte ve taşkın riskini artırmaktadır.
- Bölgenin eğimli topografyası, kalın toprak örtüsü ve jeolojik olarak ince taneli (kil ve kum ağırlıklı) yapısı, heyelan ve erozyon sürecini hızlandıran temel doğal etkenler arasındadır.
- Dik ve dikeye yakın yamaçların yoğunluğu, özellikle yoğun yağış koşullarında kütle hareketlerini kolaylaştırmaktadır.
- Plansız ve yanlış mühendislik teknikleriyle inşa edilen yollar, yamaç bütünlüğünü bozarak heyelanları tetiklemekte; bu durum geçmiş olaylarla da kanıtlanmıştır.
- Dere yatağına yapılan hatalı müdahaleler (daraltma, istinat duvarlarının yanlış konumlandırılması, akış hızını düşürücü unsurların yok edilmesi), akarsuyun hızını artırarak taşkınların etkisini şiddetlendirmektedir.
- Vadi tabanının en geniş kısmının mansapta bulunması, eğimin azalması nedeniyle yerleşimlerin burada yoğunlaşmasına yol açmakta; bu durum afetlerde malzeme birikimini ve riskleri artırmaktadır.
- Mansap bölümünde Karadeniz Sahil Yolu ve Artvin–Hopa karayolunun yer alması, olası afetlerde ulaşım ağlarının kullanılmaz hale gelme riskini ortaya çıkarmaktadır.
- Kuzeye bakan yamaçların daha fazla yağış alması, hidrolojik dinamiklerin artmasına ve akışların enerjik olmasına neden olmaktadır.
- Güney bakıya sahip yamaçlarda güneşlenme süresinin uzun olması, ayrışmayı hızlandırarak erozyon potansiyelini yükseltmektedir.
- Yerleşim ve sanayi faaliyetlerinin dere kenarlarına kadar yayılması, dere yatağında atık birikimine ve akışın bozulmasına yol açmaktadır.

- Cankurtaran Tüneli hafriyatının dere yatağına vahşi şekilde depolanması, taşkınlar sırasında malzeme yükünü artırmaktadır.
- Toprak–bitki ilişkisinin bozulması, erozyonu hızlandıran bir diğer unsurdur; bu nedenle ağaçlandırma, enerji ormanı, çalılandırma ve otlandırma gibi sistematik bitkilendirme faaliyetleri erozyonun azaltılmasında kritik rol oynamaktadır.



SONUÇ VE ÖNERİLER

Doğu Karadeniz Bölgesi, doğal oluşumu itibarıyla oldukça engebeli ve yüksek eğimli bir coğrafyaya sahip olması yanında aynı zamanda ülkemizin en fazla ortalama yıllık yağışına sahip bölgesidir. Bunlara ek olarak, diğer bölgelerimizle karşılaştırıldığında orman ve mera alanları başta olmak üzere doğal bitki örtüleri ile kaplanma oranlarıyla da dikkati çeken bir bölgedir. Buna karşılık, özellikle deniz seviyesinden yaklaşık 800-1000 m yükseltiye kadar olan kuşakta insan kaynaklı faaliyetler sonucunda arazi kullanımında ciddi değişikliklerin meydana geldiği ve bu değişikliklerle beraber özellikle sel, taşkın ve heyelan gibi afetlere sıkça maruz kalan bir bölgemizdir.

Doğu Karadeniz Havzası olarak bilinen bu havzadaki özellikler ve yaşanan değişimler, havzadaki ekolojik, hidromorfolojik ve sosyo-kültürel olgularla beraber bazı afet olaylarındaki risk oranlarının da değişmesine yol açtığı literatürde sıkça vurgulanmaktadır. Söz konusu bu değişimlerin ve sel, taşkın ve heyelan olaylarının meydana geldiği ilçelerden biri de Hopa olarak kayıtlara geçmiştir.

Buradan yola çıkarak, bu tez çalışmasında, Artvin ili Hopa ilçesinde yer alan Hopa Deresi Havzası'nın (HDH) Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla hidromorfolojik özellikleri belirlendikten sonra, ICONA modeli ile de havzanın güncel erozyon risk durumu ortaya çıkarılmıştır. Tespit edilen temel sonuçlar içinde, Karadeniz Bölgesinin tipik özelliklerinden olan deniz seviyesinden yüksek rakımlara (HDH için zirve yaklaşık 1858 m) kısa mesafelerde ulaşıldığı ve havza genelinde eğimin oldukça yüksek olduğu (%20 eğimin üzerindeki alanların %87,5'ini oluşturduğu). Bununla beraber, ICONA modelinden elde edilen erozyon risk haritası ise çalışma alanı olarak seçilen HDH'nin önemli bir kısmının “orta” ve “yüksek” erozyon risk sınıflarında yer aldığı da bir diğer önemli çıktı olarak belirlenmiştir.

Elde edilen erozyon risk haritasında da açıkça görüldüğü üzere ciddi toprak erozyonuna maruz kalan alanların genelde yüksek eğime sahip ve yüksek rakımlı yamaçlarda bulunduğu açıktır. Bu sonucun, doğal orman yapısından çay tarımına dönüşümün başladığı 1950'li yıllardan bu yana havzadaki arazi kullanımında yaşanan değişimlerin olumsuz etkileriyle paralel olduğu söylenebilir. Çay tarımının artmasıyla beraber önceden ormanlarla kaplı olan yamaçların zaten bölgede yüksek olan yağışı yeterince

yavaşlatıp/tutup toprağa sızdıramadığı (düşük infiltrasyon) ve bunun da yüzeysel akışın artmasına, sonucunda da sel ve taşkın olaylarına neden olduğu görülmektedir. Bununla beraber, arazi kullanımındaki hatalar sadece ormanların çay/fındık tarımına dönüştürülmesi ile sınırlı olmadığı bilinmektedir. Aynı zamanda, yıllar içinde büyüyen plansız şehirleşmeyle de (özellikle dere yataklarına yapılan yerleşim ile ulaşım yollarındaki artış) ormanlık alanların tahrip edilmesi ve yamaçların yeni yollarla parçalanarak yamaçların stabilitesini azaltması ve sonucunda da hem yüzey toprak erozyonuna hem de kütle hareketlerine (heyelanlar, kaya yuvarlanmaları, vb.) sebep olmaktadır. Bu nedenle de hem Doğu Karadeniz Havzası genelinde hem de çalışma havzasında söz konusu tahrip edilmiş yamaç arazilerinde yarıntı erozyonlarına rastlamak mümkündür.

Yukarıda açıklanan neden-sonuç bağlamındaki olumsuz etkilerin negatif etkilerinin azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılması için;

- HDH'da orman ve/veya mera alanlarından tarım veya yerleşime dönüştürme faaliyetlerinin kesinlikle durdurulması,
- Terk edilen tarım alanları mevcutsa, bu alanların uygun bir teknikle önceki doğal yapısına (orman/mera) dönüştürülmesi,
- Özellikle yerel yönetimlerin, havza sınırları içinde belirleyecekleri imar alanlarını seçerken bilimsel/teknik faktörleri göz önünde bulundurmaları,
- Yüksek yağışlarda suyun tahliyesini kolaylaştıracak şekilde teknik (alt yapının iyileştirilmesi) ve kültürel (bitkisel) önlemlerin alınması önerilebilir.

KAYNAKLAR

- Bağdatlı, C. ve Öztürk, B. (2014). Havza morfolojik verimin belirlenmesinde bilgi sonuçlarının (CBS) etkin rolü. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 18(1), 11-19. <https://doi.org/10.16984/saufbed.11000>
- Bayramin, İ, Dengiz, O, Başkan, O ve Parlak, M (2003). Icona Modeli ile Toprak Erozyonu Risk Değerlendirmesi; Örnek Olay: Beypazarı Bölgesi. Türkiye Tarım ve Ormancılık Dergisi 27 (2): 105-116.
- Bilgiç, S., & Er, S. (2025). Malatya ilinde ICONA yöntemi ile CBS ve uzaktan algılama tabanlı erozyon risk analizi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14(1), 350-359. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1587977>
- Çetinkaya A, 2020, Hopa Çayı Havzası Uygulamalı Jeomorfoloji Etüdü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı
- Dengiz, O., İmamoğlu, A., Saygın, F., Göl, C., Ediş, S. ve Doğan, A. (2014). İnebolu havzasının ICONA modeli ile toprak erozyon risk değerlendirmesi. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 29(2): 136-142.
- Ediş, S., Aytaş, İ., & Özcan, A. U. (2021). ICONA modeli kullanarak toprak erozyon riskinin değerlendirilmesi: Meşeli (Çubuk/Ankara) Havzası Örneği. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 7(1), 15-22. <https://doi.org/10.53516/ajfr.948519>
- Farris A.Y. Okou, Brice Tente, Yvonne Bachmann, Brice Sinsin, 2016, Karar desteği için bölgesel erozyon riski haritalaması: Batı Afrika'dan bir vaka çalışması, Arazi Kullanım Politikası, Cilt 56, Sayfa 27-37
- Gündüzoğlu, G (2018). Kıyı Ege Bölümünde Erozyon Riskinin Icona Yöntemi ile Belirlenmesi. Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, Yıl: 6, Sayı: 79, Ekim 2018, S. 596-614

- Hatipoğlu, İ. K. ve Uzun, A. (2020). Melet Irmağı Havzası'nda erozyon riskinin MICONA modeli ile değerlendirilmesi, *Türk Coğrafya Dergisi*, 74, 17 – 31.
- Hatipoğlu, İ. K., & Hatipoğlu, Ş. C. (2020). Harşit Çayı Havzası'nda ICONA ve Alternatif Olarak Geliştirilen MICONA Modellerinin Karşılaştırılması. *Sosyal ve Beşerî Bilimler Dergisi*, 4(2), 108-135.
- İnik O, Utlu M (2025). Bingöl'de (Türkiye) Erozyon Duyarlılığı Analizinde Lojistik Regresyon, Frekans Oranı, Kanıt Ağırlığı ve Shannon'ın Entropi Modellerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Karşılaştırılması. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 31(2):538-557.
- Karakoca, E. (2025). CBS ve Uzaktan Algılama Teknikleri ile ICONA Modeli Kullanılarak Katrancı Çayı Havzası'nda (Haymana, Ankara) Toprak Erozyonu Duyarlılığı Değerlendirmesi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi* (14), 126-145. <https://doi.org/10.46453/jader.1653839>
- Kaya N, 2013, Bertiz Deresi Yağış Havzasında Uzaktan Algılama Teknikleri ve ICONA Sınıflandırması Kullanılarak Erozyon Risk Haritasının Oluşturulması, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim
- Kütükçü, A., KAYA, Ş., Kapdaşlı, S., & GAZİOĞLU, C., (2015). Nehir Havzalarının Morfolojik Karakteristiklerinin CBS Destekli Nümerik Modeller Kullanılarak Analizi. *TUFUAB 2015* (pp.1-10).
- Kütükçü A, 2016, Komşu Havzaların Hidrolojik ve Morfolojik Olarak Karşılaştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı
- Ödeker, B. Ve Türkoğlu, N. (2020). Sabuncular Deresi Havzası'nın Rize/Çayeli Morfometrik Özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Cbs ile Belirlenmesi. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 60(1), 14-38.
- Özhan, S., 2004. Havza Amenajmanı, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No:481, 384s, İstanbul.

- Reis, M., Dutal, H., Bolat, N., Savacı, G. (2017). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve ICONA Kullanılarak Toprak Erozyonu Risk Değerlendirmesi: Kahramanmaraş, Türkiye'de Bir Örnek Olay İncelemesi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 34(1), 64-75. <https://doi.org/10.13002/jafag4208>
- Tüfekçioğlu, M. Ve Yavuz, M. (2016). Yusufeli Mikro Havzasında Artvin Yüzeyindeki Toprak Kaybının Tahmin Edilmesi Ve Risk Haritalarının Belirtileri. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 17 (2), 188–199.
- Horton, R. (1945) Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins; Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. Geological Society of America Bulletin, 56, 275-370. [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)
- Yıldırım, S., (2013) Çoruh Nehri Üzerinde Tamamlanan, İnşası Devam Eden ve Planlanan Büyük Barajların Neden Olduğu Ve Olacağı Arazi Kullanım Değişimlerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Ana Bilim Dalı
- Yıldırım, S., Özalp, M., & Erdoğan Yüksel, E. (2016). Srtm Ve Topografik Harita Verilerini Kullanarak Archydro Modülünün Artvin İlindeki Yağış Havzalarının Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesinde Uygulanması. Doğal Afetler Ve Çevre Dergisi, 2(2), 71–80.

URL-1

TEMA Vakfı. <https://sutema.org/> Erişim Tarihi: 18.06.2025

URL-2

<https://ekosfer.org/2024-yilinda-turkiyede-1257-asiri-hava-olayi-goruldu/#:~:text=%C4%B0klim%20kriziyle%20birlikte%20say%C4%B1s%C4%B1%20ve,olay%C4%B1%20g%C3%B6r%C3%BClen%20ikinci%20y%C4%B1%20oldu.>

URL-3

<https://www.yenisafak.com/gundem/artvinde-sel-felaketi-7-olu-2234636>

URL-4

https://www.meteoblue.com/tr/hava/historyclimate/climatemodelled/hopa_t%C3%BCrk-ye-cumhuriyeti_745530 Erişim Tarihi: 24.10.2025

