
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

MORFOMETRİK ANALİZ YARDIMIYLA EROZYONA DUYARLI ALANLARIN ÖNCELİKLENDİRİLMESİ

Büşra DÜZLEYEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAYIS 2025

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Büşra DÜZLEYEN

08/04/2025

MORFOMETRİK ANALİZ YARDIMIYLA EROZYONA DUYARLI ALANLARIN ÖNCELİKLENDİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Büşra DÜZLEYEN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2025

ÖZET

Toprak erozyonu, şiddetli yağış veya güçlü rüzgâr gibi doğal kuvvetler ile insan etkisiyle toprak parçacıklarının yerinden koparılıp taşınmasıyla oluşan jeolojik bir süreçtir. Türkiye, coğrafi konumu, topoğrafyası, iklimi ve toprak koşulları nedeniyle erozyona karşı özellikle hassastır. Bu çalışmada, Türkiye'nin ciddi toprak erozyonu ile karşı karşıya olan havzalarından biri olan Çoruh Havzası çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışmada Çoruh Havzası'nın üç alt havzasında erozyon duyarlılığını etkilediği düşünülen onyedi morfometrik parametre ile üç jeololik-hidrolojik parametre kullanılarak havzanın erozyon duyarlılığı incelenmiştir. Parametrelerin erozyon duyarlılığı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)-uzman görüşü ve AHP-doğrusal normalizasyon, Shannon entropi, temel bileşen analizi ve eşit ağırlıklar olmak üzere beş adet yöntem kullanılmıştır. Elde edilen parametre ağırlıkları kullanılarak Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden (ÇKKV) COPRAS (Complex Proportinal Assessment) ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemleri uygulanmış ve üç alt havzada toplam 93 mikro alt havza erozyon duyarlılığı açısından önceliklendirilmiştir. Çalışmada kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan Shannon entropi yönteminin uzman görüşleriyle benzer sonuçlar verdiği, en farklı sonuçların parametrelerin aynı etkiye sahip olduğu eşit ağırlık yöntemiyle elde edildiği görülmüştür. COPRAS ve TOPSİS yöntemleri ile de çok benzer sonuçlar elde edilmiştir. Önceliklendirme işlemleri sonucu erozyona en duyarlı alt havzanın Artvin'in Yusufeli ilçesinde, en az duyarlı alt havzanın ise Erzurum ili Şenkaya ilçesi ile Kars ili Sarıkamış ilçesinin kesişiminde yer aldığı tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucunda kriter ağırlıklarının belirlenmesinde Shannon entropi yönteminin güvenilir sonuçlar vermesi ve pratik olması nedenleriyle tercih edilebileceği, özellikle ölçüm veya gözlem istasyonu bulunmayan havzalarda morfometrik parametreler yardımıyla ÇKKV yöntemleri kullanılarak erozyon duyarlılık haritalarının oluşturulabileceği ve ilgili kurumlar için bu haritaların havza yönetiminde önemli fikirler verebileceği sonucuna varılmıştır.

Bilim Kodu	:	91133
Anahtar Kelimeler	:	Çoruh Havzası, morfometrik parametreler, toprak erozyonu, doğrusal normalizasyon, Shannon entropi, temel bileşen analizi, AHP, COPRAS, TOPSIS
Sayfa Adedi	:	154
Danışman	:	Prof. Dr. Müsteyde BADUNA KOÇYİĞİT

PRIORITIZATION OF EROSION-PRONE ZONES BY MORPHOMETRIC ANALYSIS

(M. Sc. Thesis)

Büşra DÜZLEYEN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

April 2025

ABSTRACT

Soil erosion is a geological process that occurs when soil particles are dislodged and transported by natural forces such as heavy rainfall and strong winds, or by human activities. Turkey is particularly vulnerable to erosion due to its geographical location, topography, climate, and soil conditions. This study examines the Çoruh Basin in Türkiye, which faces severe soil erosion. In the study, the erosion susceptibility of the basin was investigated using seventeen morphometric parameters and three geological-hydrological parameters that are considered to affect the erosion susceptibility of the Çoruh Basin. Five methods were used to determine the effect of parameters on erosion susceptibility: Analytical Hierarchy Process (AHP)-expert opinion and AHP-linear normalization, Shannon entropy, principal component analysis, and equal criteria weights. Using these parameter weights, COPRAS (Complex Proportional Assessment) and TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) methods of Multi-Criteria Decision Making Methods (MCDM) were applied, and a total of 93 micro sub-basins in three sub-basins were prioritized in terms of erosion susceptibility. It was observed that the Shannon entropy method used in determining the criterion weights in the study gave similar results to expert opinions, and the most distinct results were obtained with the equal weights method, where the parameters had the same effect. Very similar results were obtained with COPRAS and TOPSIS methods. As a result of the prioritization process, it was determined that the sub-basin that is the most prone to erosion is located in the Yusufeli district of Artvin. In contrast, the least sensitive sub-basin is located in the intersection of Şenkaya district of Erzurum and Sarıkamış district of Kars provinces. Following this study, it is concluded that the Shannon entropy method can be preferred in determining the criteria weights because it provides reliable results and is practical and that erosion susceptibility maps can be created using MCDM methods and morphometric parameters, especially in basins without measurement or observation stations. These maps can offer valuable insights for relevant government bodies in basin management programs.

Science Code : 91133

Key Words : Çoruh Basin, morphometric parameters, soil erosion, linear normalization, Shannon entropy, principal component analysis, AHP, COPRAS, TOPSIS

Page Number : 154

Supervisor : Prof. Dr. Müsteyde BADUNA KOÇYİĞİT

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında, her zaman yanımda olan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Müsteyde BADUNA KOÇYİĞİT'e, değerli bilgi ve deneyimlerinden faydalanma fırsatı bulduğum Sayın Doç. Dr. Hüseyin AKAY hocama ve lisansüstü eğitim hayatım boyunca bana destek olan tüm hocalarıma şükranlarımı ve saygılarımı sunarım.

Çalışma sürecimde değerli bilgi ve birikimlerini cömertçe paylaşan, desteklerini her an hissettiğim Yük. Mak. Müh. Muhammet Ali ESER'e ve Yük. Mak. Müh. Cansu DÜZLEYEN ESER'e teşekkürü bir borç bilirim. Sevinçlerimi ve hüzünlerimi paylaştığım, bana duyduğu güvenle güç veren Mak. Müh. Mertcan IRAVUL'a canı gönülden teşekkür ederim. Ayrıca, tez sürecimde benimle birlikte zamanını ayıran ve bilgisini paylaşan değerli arkadaşım İnş. Müh. Alperhan ZORLU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, hayatım boyunca bir an olsun sabrını ve hoşgörüsünü esirgemeyen sevgili annem Leyla DÜZLEYEN'e, bugünlere gelmemde her daim emek veren babam Murat DÜZLEYEN'e sonsuz minnet ve teşekkürlerimi iletirim. Henüz birkaç aylık olmasına rağmen, bu çalışmayı tamamlama sürecimde bana verdiği tarifsiz huzur ve mutlulukla en büyük ilham kaynağım olan yeğenim Asil Uras ESER'e de içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ xi

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xv

HARİTALARIN LİSTESİ xv

SİMGELER VE KISALTMALAR xviii

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 7

2.1. Erozyon Çeşitleri 7

2.2. Erozyon Tahmin Yöntemleri 8

3. ÇALIŞMA ALANI 15

3.1. Genel Bilgiler 15

3.2. Arazi Kullanımı 16

3.3. Jeolojik Özellikler 17

3.4. İklim Özellikleri 18

3.5. Su Kaynakları 18

3.6. Şehirleşme ve Nüfus Özellikleri 19

3.7. Havzada Erozyon Durumu ve Önleyici Çalışmalar 20

4. MATERYAL VE YÖNTEM 21

4.1. Metodoloji 21

4.2. Çalışma Alanı Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve Alt Havzaların Oluşturulması 21

Sayfa

4.2.1. SYM'nin oluşturulması 21

4.2.2. Drenaj ağları ile alt havzaların elde edilmesi 25

4.3. Çalışma Alanı Tematik Haritaları 29

4.3.1. Yükselti özellikleri 29

4.3.2. Eğim özellikleri 32

4.3.3. Hipsometrik eğri ve hipsometrik integral 35

4.4. Erozyon Duyarlılığı İçin Kullanılan Morfometrik Parametreler 39

4.4.1. Çizgisel parametreler 42

4.4.2. Alansal parametreler 44

4.4.3. Rölyef parametreler 47

4.5. Jeolojik-Hidrolojik Parametreler 48

4.6. Çalışmada Kullanılan Yöntemler 50

4.6.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi (AHP) 50

4.6.2. Shannon Entropi yöntemi 53

4.6.3. Temel Bileşen Analizi (Principal Component Analysis-PCA) 54

4.6.4. COPRAS yöntemi 55

4.6.5. TOPSIS yöntemi 57

5. ÇORUH HAVZASI'NDA EROZYON DUYARLILIĞI ANALİZ SONUÇLARI 61

5.1. Morfometrik Parametrelerin Erozyon Duyarlılığının Değerlendirilmesi 61

5.2. Jeolojik-Hidrolojik Parametrelerin Erozyon Duyarlılığına Etkisinin Değerlendirilmesi 72

5.2.1. Topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) 72

Sayfa

5.2.2. Akarsu gücü indeksi (SPI) 75

5.2.3. Arazi engebelilik indeksi (TRI) 77

5.2.4. Topoğrafik pozisyon indeksi (TPI) 80

5.3. Havzaların Morfometrik Parametrelere Göre Erozyon Duyarlılıklarının Değerlendirilmesi 82

6. ÇALIŞMA KAPSAMINDAKİ ÇORUH HAVZASI ALT HAVZALARININ EROZYON DUYARLILIKLARININ ÖNCELİKLENDİRİLMESİ 89

6.1. AHP Yöntemi İle Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi 89

6.1.1. Uzman görüşü ile kriter ağırlıkların belirlenmesi (AHP-U) 89

6.1.2. Doğrusal normalizasyon ile kriter ağırlıkların belirlenmesi (AHP-N) 90

6.2. Entropi Yöntemi İle Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi 91

6.3. Temel Bileşen Analizi Sonuçları 92

6.4. Eşit Kriter Ağırlığının Belirlenmesi 96

6.5. COPRAS Yöntemine Göre Önceliklendirme 97

6.6. TOPSIS Yöntemine Göre Önceliklendirme 103

6.7. Çalışma Kapsamında Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi 109

7. SONUÇ VE ÖNERİLER 117

KAYNAKLAR 121

EKLER 129

EK-1. Havzalara ait temel fiziksel büyüklüklere ait veriler 130

EK-2. Havzalara ait farklı mertebelerdeki akarsu sayıları ve uzunlukları 133

EK-3. Havzalara ait morfometrik parametre değerleri 138

EK-4. AHP-U yöntemine ait matrisler 146

EK-5. AHP-N yöntemine ait matrisler 151

Sayfa

EK-6. Temel bileşen analizine ait matrisler..... 153

ÖZGEÇMİŞ 154

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.1. Çoruh Havzası'nın bazı temel fiziksel özellikleri 29

Çizelge 4.2. Çoruh Havzası'na ait hipsometrik eğri verileri 36

Çizelge 4.3. Havza 4'e ait hipsometrik eğri verileri 37

Çizelge 4.4. Havza 6'ya ait hipsometrik eğri verileri 38

Çizelge 4.5. Havza 9'a ait hipsometrik eğri verileri 39

Çizelge 4.6. Parametrelerin sembolleri ve formülleri 41

Çizelge 4.7. Rassallık göstergeleri (Saaty, 1980) 51

Çizelge 5.1. Havza 4'e ait alt havzaların temel fiziksel büyüklükleri ve istatistiksel verileri 62

Çizelge 5.2. Havza 6'ya ait alt havzaların temel fiziksel büyüklükleri ve istatistiksel verileri 62

Çizelge 5.3. Havza 9'a ait alt havzaların temel fiziksel büyüklükleri ve istatistiksel verileri 62

Çizelge 5.4. Havza 4'e ait alt havzaların akarsularla ilgili karakteristik büyüklükleri 63

Çizelge 5.5. Havza 6'ya ait alt havzaların akarsularla ilgili karakteristik büyüklükler 63

Çizelge 5.6. Havza 9'a ait alt havzaların akarsularla ilgili karakteristik büyüklükleri 64

Çizelge 5.7. Havza 4'e ait alt havzaların çizgisel morfometrik parametrelerine ait istatistiksel verileri 65

Çizelge 5.8. Havza 6'ya ait alt havzaların çizgisel morfometrik parametrelerine ait istatistiksel verileri 65

Çizelge 5.9. Havza 9'a ait alt havzaların çizgisel morfometrik parametrelerine ait istatistiksel verileri 65

Çizelge 5.10. Havza 4'e ait alt havzaların alansal morfometrik parametrelerine ait istatistiksel verileri 67

Çizelge 5.11. Havza 6'ya ait alt havzaların alansal morfometrik parametrelerine ait istatistiksel verileri 67

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.12. Havza 9'a ait alt havzaların alansal morfometrik parametrelerine ait istatistiksel verileri 68

Çizelge 5.13. Havza 4'e ait alt havzaların rölyef morfometrik parametrelerine ait istatistiksel verileri 70

Çizelge 5.14. Havza 6'ya ait alt havzaların rölyef morfometrik parametrelerine ait istatistiksel verileri 70

Çizelge 5.15. Havza 9'a ait alt havzaların rölyef morfometrik parametrelerine ait istatistiksel verileri 70

Çizelge 5.16. Çoruh Havzası ve Havza 4, 6, 9'a ait temel fiziksel büyüklük verileri 86

Çizelge 5.17. Çoruh Havzası ve Havza 4, 6, 9'a ait farklı mertebelerdeki akarsu sayıları 86

Çizelge 5.18. Çoruh Havzası ve Havza 4, 6, 9'a ait farklı mertebelerdeki akarsu uzunlukları 86

Çizelge 5.19. Çoruh Havzası ve Havza 4, 6, 9'a ait çizgisel morfometrik parametre verileri 86

Çizelge 5.20. Çoruh Havzası ve Havza 4, 6, 9'a ait alansal morfometrik parametre verileri 87

Çizelge 5.21. Çoruh Havzası ve Havza 4, 6, 9'a ait rölyef morfometrik parametre verileri 87

Çizelge 5.22. Çoruh Havzası ve Havza 4, 6, 9'a ait jeolojik-hidrolojik parametre verileri 87

Çizelge 6.1. Uzman görüşü ile elde edilen parametre ağırlıkları ve tutarlılık oranı 90

Çizelge 6.2. Doğrusal normalizasyon ile elde edilen parametre ağırlıkları ve tutarlılık oranı 92

Çizelge 6.3. Entropi yönteminde hesaplanan değerler tablosu ve kriter ağırlık oranları 92

Çizelge 6.4. Parametrelerin KMO ve Barlett test sonuçları 93

Çizelge 6.5. Çoruh Havzası'na ait üç alt havzanın parametrelerinin toplam varyansı 94

Çizelge 6.6. Döndürülmemiş faktör yükleme matrisi 95

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 6.7. Döndürülmüş faktör yükleme matrisi 95

Çizelge 6.8. COPRAS yöntemine göre önceliklendirme tablosu 97

Çizelge 6.9. COPRAS yöntemine göre erozyon duyarlılığı en düşük ve en yüksek olan alt havzalar 99

Çizelge 6.10. TOPSIS yöntemine göre önceliklendirme tablosu 104

Çizelge 6.11. TOPSIS yöntemine göre erozyon duyarlılığı en düşük ve en yüksek olan alt havzalar 106

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Toplam erozyon yüzdesi en yüksek olan havzalar (ÇEM, 2023) 3

Şekil 4.1. Çalışmada izlenen metodoloji 22

Şekil 4.2. ArcGIS çalışma aşamaları (model builder) 23

Şekil 4.3. Çoruh Havzası'na ait hipsometrik eğrisi 36

Şekil 4.4. Havza 4'e ait hipsometrik eğri 37

Şekil 4.5. Havza 6'ya ait hipsometrik eğri 38

Şekil 4.6. Havza 9'a ait hipsometrik eğri 39

Şekil 6.1. Temel bileşenler analizinde yamaç eğim grafiği 94

Şekil 6.2. Tersip bendi-Artvin (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020) 114

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita **Sayfa**

Harita 2.1. Türkiye su erozyonu haritası (ÇEMGM, 2024) 9

Harita 3.1. Çoruh Havzası konumu 15

Harita 3.2. Çoruh Havzası arazi kullanımı (CORINE, 2020) 16

Harita 3.3. Çoruh Havzası büyük toprak grupları haritası (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019) 17

Harita 3.4. Çoruh Nehri ve Çoruh Nehri'ni besleyen dereler (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019) 19

Harita 4.1. Çoruh Havzası Strahler yöntemine göre akarsu ağı numaraları 24

Harita 4.2. Çoruh Havzası alt havzaları 25

Harita 4.3. Havza 4'e ait drenaj ağı 26

Harita 4.4. Havza 6'ya ait drenaj ağı 27

Harita 4.5. Havza 9'a ait drenaj ağı 27

Harita 4.6. Havza 4'e ait alt havzalar 28

Harita 4.7. Havza 6'ya ait alt havzalar 28

Harita 4.8. Havza 9'a ait alt havzalar 29

Harita 4.9. Çoruh Havzası sayısal yükseklik modeli 30

Harita 4.10. Havza 4 sayısal yükseklik modeli 31

Harita 4.11. Havza 6 sayısal yükseklik modeli 31

Harita 4.12. Havza 9 sayısal yükseklik modeli 32

Harita 4.13. Çoruh Havzası eğim haritası 33

Harita 4.14. Havza 4 eğim haritası 33

Harita 4.15. Havza 6 eğim haritası 34

Harita 4.16. Havza 9 eğim haritası 34

Harita 5.1. Çalışmadaki üç alt havza ve Çoruh Havzası'ndaki konumları 61

Harita **Sayfa**

Harita 5.2. Çoruh Havzası'na ait TWI haritası 73

Harita 5.3. Havza 4'e ait TWI haritası 73

Harita 5.4. Havza 6'ya ait TWI haritası 74

Harita 5.5. Havza 9'a ait TWI haritası 74

Harita 5.6. Çoruh Havzası'na ait SPI haritası 75

Harita 5.7. Havza 4'e ait SPI haritası 76

Harita 5.8. Havza 6'ya ait SPI haritası 76

Harita 5.9. Havza 9'a ait SPI haritası 77

Harita 5.10. Çoruh Havzası'na ait TRI haritası 78

Harita 5.11. Havza 4'e ait TRI haritası 78

Harita 5.12. Havza 6'ya ait TRI haritası 79

Harita 5.13. Havza 9'a ait TRI haritası 79

Harita 5.14. Çoruh Havzası'na ait TPI haritası 80

Harita 5.15. Havza 4'e ait TPI haritası 81

Harita 5.16. Havza 6'ya ait TPI haritası 81

Harita 5.17. Havza 9'a ait TPI haritası 82

Harita 6.1. AHP-U ve COPRAS yöntemlerine göre erozyon duyarlılığı haritası 100

Harita 6.2. AHP-N ve COPRAS yöntemlerine göre erozyon duyarlılığı haritası 100

Harita 6.3. Entropi ve COPRAS yöntemlerine göre erozyon duyarlılığı haritası 101

Harita 6.4. Temel bileşen analizi ve COPRAS yöntemlerine göre erozyon duyarlılığı haritası 101

Harita 6.5. Eşit ağırlık ve COPRAS yöntemlerine göre erozyon duyarlılığı haritası 102

Harita 6.6. AHP-U ve TOPSIS yöntemlerine göre erozyon duyarlılığı haritası 107

Harita 6.7. AHP-N ve TOPSIS yöntemlerine göre erozyon duyarlılığı haritası 107

Harita 6.8. Entropi ve TOPSIS yöntemlerine göre erozyon duyarlılığı haritası 108

Harita **Sayfa**

Harita 6.9. Temel bileşen analizi ve TOPSIS yöntemlerine göre erozyon duyarlılığı haritası 108

Harita 6.10. Eşit ağırlık ve TOPSIS yöntemlerine göre erozyon duyarlılığı haritası 109

Harita 6.11. COPRAS yöntemine göre en düşük ve en yüksek erozyon duyarlılılığı olan alt havzalar 111

Harita 6.12. TOPSIS yöntemine göre en düşük ve en yüksek erozyon duyarlılılığı olan alt havzalar 111

Harita 6.13. Çoruh Havzası korunan alanlar (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023)..... 113

Harita 6.14. DSİ Çoruh projeleri erozyon ve taşkın önleme uygulama noktaları..... 114

Harita 6.15. Oltu, Olur ve Tortum mikro havzaları oyuntu ve kanal erozyonu ölçüm alanları..... 115

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	Havzanın Alanı
A	Karşılaştırmalı Üstünlük Matrisi
$\mathbf{A_s}$	Akış Toplanma Alanı
$\mathbf{A_{tk}}$	Yıllık Ortalama Toprak Kaybı
B	Bileşen
$\mathbf{B_h}$	Havza Rölyefi
C	Bitkisel Örtü
CI	Tutarlılık İndeksi
CR	Tutarlılık Oranı
$\mathbf{D_d}$	Drenaj Yoğunluğu
E	Nokta Yüksekliği
$\mathbf{F_s}$	Akarsu Sıklığı
ha	Hektar
$\mathbf{H_c}$	Hipsometrik Eğri
$\mathbf{H_i}$	Hipsometrik İntegral
$\mathbf{H_{max}}$	Maksimum Yükseklik
$\mathbf{H_{min}}$	Minimum Yükseklik
$\mathbf{H_{ort}}$	Ortalama Yükseklik
$\mathbf{I_f}$	İnfiltrasyon Değeri
K	Toprak Erozyon Duyarlılığı
$\mathbf{K_g}$	Gravelius Değeri
km	Kilometre
$\mathbf{km^2}$	Kilometrekare
L	En Uzun Akış Uzunluğu
$\mathbf{L_b}$	Havzanın Uzunluğu
$\mathbf{L_o}$	Yüzeysel Akış Uzunluğu
LS	Topoğrafik Faktör

Simgeler	Açıklamalar
L_u	Akış Uzunluğu
m	Metre
MRn	Melton Engebelilik Değeri
n	Kriter Sayısı
N_i	Fayda Derecesi
N_u	U Mertebesindeki Akarsu Sayısı
P	Havzanın Çevresi
P_i	Avantajlı Kriterler Toplamı
P_t	Toprak Koruma Yöntemleri
Q_i	Göreceli Önem Değeri
R	Rölyef
R_b	Çatallanma Oranı
R_{bwm}	Ağırlıklı Ortalama Çatallanma Oranı
R_c	Dairesellik Oranı
R_e	Uzunluk Oranı
R_f	Form Faktörü
R_g	Yağışın Aşındırma Gücü
R_h	Rölyef Oranı
R_i	Avantajlı Olmayan Kriterler Toplamı
R_{lwm}	Ağırlıklı Akarsu Uzunluk Oranı
R_n	Engebelilik Değeri
R_r	Rölyef Oranı
RI	Rassal İndeks
S	Eğim
SPI	Akarsu Gücü İndeksi
T	Tekstür Oranı
T_c	Akım Toplanma Zamanı
TPI	Topografik Pozisyon İndeksi
TRI	Arazi Engebelik İndeksi
TWI	Ortalama Topografik Nemlilik İndeksi
U	Akarsu Mertebesi
w	Kriter Ağırlığı

Simgeler	Açıklamalar
X	Karar Verme Matrisi
λ_{max}	Temel Matris Özdeğeri

Kısaltmalar	Açıklamalar
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
AHS	Analitik Hiyerarşik Süreç
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CF	Compound Factor
COPRAS	Complex Proportional Assessment
CORINE	Coordination of Information on the Environment
ÇEM	Çölleşme ve Erozyonla Mücadele
ÇEMGM	Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
DEMİS	Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi
DKT	Doğrusal Kombinasyon Tekniği
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
JICA	Japan International Cooperation Agency
KTCCT	Kendall Tau Correlation Coefficient Test
MCDM	Multi-Criteria Decision-Making
MPSIAC	Modified Pacific Southwest Inter-Agency Committee
PCA	Principal Component Analysis
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation
SAW	Simple Additive Weighting
SCTT	Spearman Correlation Coefficient Test
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SYGM	Su Yöntemi Genel Müdürlüğü
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
TUREF	Türkiye Ulusal Referans Sistemi
UA	Uzaktan Algılama
UDREMİS	Ulusal Dinamik Rüzgâr Erozyonu Modeli İzleme Sistemi

Kısaltmalar	Açıklamalar
USLE	Universal Soil Loss Equation
VIKOR	VIse KriterijumsaOptimiz acija I Kompromisno Resenje
WARSEM	Washington Road Surface Erosion Model
WEPP	Water Erosion Prediction Project

1. GİRİŞ

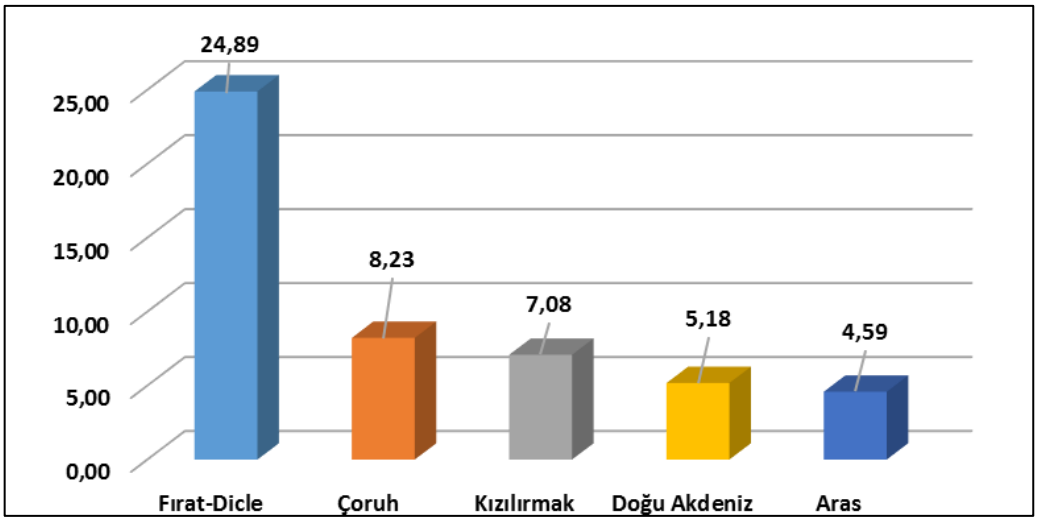
En önemli doğal kaynaklardan biri olan toprak; yer yüzeyindeki yaşamın devamı için hayati öneme sahiptir. Doğal koşullarda tarıma elverişli 1 cm kalınlığında bir toprak tabakası, ortalama olarak 100 ile 1000 yıl arasında oluşmaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2024). Bu denli hayati önemi olan ve oluşumu çok uzun süre alan toprağın başlıca düşmanlarından biri erozyondur. Çeşitli faktörlerle toprağın yerinden oynatılması olayına erozyon denir. Doğal bir süreç olan erozyonu etkileyen faktörler arasında bitki örtüsü, toprağın yapısı, topoğrafya ve iklim sayılabilir. Doğal erozyon faktörleri olarak tanımlanan bu dört faktörün yanı sıra beşinci grup olarak insan faktörü de yer almaktadır. Özellikle artan nüfusa paralel olarak yoğunluğu ve sayısı artan yerleşim yerleri ile insanların ihtiyacını karşılamak için arazi kullanımında yapılan değişiklikler erozyonu önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Olayın gerçekleşmesinde çok sayıda faktörün bulunması, farklı ortamlarda farklı boyutlarda erozyon yaşanmasına neden olmaktadır (Morgan, 1995). Özellikle verimli üst toprağın uzaklaşmasına ve toprak degradasyonuna yol açan erozyonun çölleşme, su kaynaklarının kalitesi ve biyoçeşitlilik üzerinde de olumsuz etkileri bulunmaktadır (Dregne ve Chou, 1992).

Erozyona doğal kuvvetler neden olmakta ve toprağın aşınımı ile oluşumu arasında bir denge bulunmaktadır. Eğer toprak oluşumu toprak aşınımı süresinden daha kısa ise toprak tabakası azalmakta, erozyon gerçekleşmektedir. Erozyon ile birlikte organik maddece zengin üst toprağın kaybı sonucu, kalan alt topraktan su ve kökler kolay geçemediğinden verimlilik de azalmaktadır. Toprağın verimli kısmı olan üst bölgenin erozyonla taşınması, dönüşü olmayan sonuçlara yol açabilmektedir. Bu sonuçlar arasında toprağın verimsizleşmesi, sediment birikintilerinin toprak yapısını bozması, çevre kirliliği, hidrolik sanat yapılarının tıkanması (menfezler, drenaj hendekleri, köprü, istinat duvarları, alt ve üst geçitler, anroşman ve pereler) sayılabilir. Dolayısıyla erozyon önemli bir ekolojik sorun olarak da karşımıza çıkmaktadır. Yağışın çok olduğu bölgelerde suların toprak yüzeyinde tahribata neden olmaması ya da sediment taşınımı nedeniyle katı madde birikimini en aza indirgemek için hidrolik sanat yapıları oldukça önemlidir (Çalışkan ve Acar, 2003). Erozyon oluşumunda etkili olan faktörler toprağın oluşmasında da etkili olan faktörlerdir. Bunlar arasında topoğrafya, iklim, canlılar ve anakaya (toprağın oluşumunu sağlayan birincil kaynak kayaçlar) gibi parametreler yer almaktadır (Perşembe Ziraat Odası, 2024). Örneğin iklim değişikliği sonucunda taşkın ve sel olaylarının şiddetinde gözlemlenen artışlarla

birlikte arazi eğiminin de etkisiyle yağmur suları arazideki bitki örtüsünü tahrip edebilmekte ve erozyon oluşumunu hızlandırabilmektedir.

Özellikle son yirmi yıl içerisinde dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de küresel ısınmaya bağlı olarak iklim değişikliğinin etkileri gözlenmektedir (SYGM,2020). İklim değişikliği kaynaklı etkilerin en önemlileri yağış rejiminin değişmesi, şiddetli hava olaylarının, taşkınların ve sellerin daha sık oluşması ve etkilerinin kuvvetlenmesi, kuraklık, erozyon ve çölleşme gibi ekolojik sistemleri ve insan hayatını doğrudan veya dolaylı olarak etkileyebilecek önemli sonuçları doğurabilmesidir. Yapılan çeşitli çalışmalarda erozyon ile iklim değişikliği arasında da karmaşık bir ilişki olduğu ve iklim değişikliği sebebiyle erozyonun artmasının büyük olasılıkla kaçınılmaz olduğunu görülmüştür (Öztürk, 2002). Bunun nedeni de toprakta tutulan organik karbonun erozyon ve yanlış toprak kullanımı gibi nedenlerle atmosfere salınması olarak açıklanmaktadır. Böyle bir durumda atmosferdeki karbondioksit seviyesi artmakta ve iklim değişikliği hızlanmaktadır. Dolayısıyla erozyonla mücadele sadece toprak kaybının önüne geçilmesi için değil aynı zamanda iklim değişikliği ile mücadele edebilmesi için de son derece önemlidir (Batan ve Toprak, 2015).

Türkiye coğrafi konumu, iklimi, topoğrafyası ve toprak özellikleri nedeniyle çölleşme, arazi tahribatı, erozyon ve kuraklık gibi doğal tehlikelere karşı son derece duyarlıdır. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (ÇEMGM) su erozyonu sonucu oluşan yıllık ortalama toprak kayıplarının belirlenmesi amacıyla Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi (DEMİS) ile rüzgâr erozyonu izleme sistemi olan Ulusal Dinamik Rüzgâr Erozyonu Modeli İzleme Sistemi (UDREMİS) yazılımlarını geliştirmiştir. Şekil 1.1‘de görüldüğü üzere Türkiye’de en çok Fırat-Dicle Havzası erozyona maruz kalmaktadır. ÇEM Genel Müdürlüğü 2021-2025 dönemi resmi istatistiklerine göre erozyon miktarının havza düzeyinde dağılımının en yüksek olduğu havza 159 832 719,65 ton/yıl ile Fırat-Dicle Havzası, ikinci sırada 52 848 848,78 ton/yıl erozyon miktarı ile Çoruh Havzası ve üçüncü sırada 45 496 277,22 ton/yıl ile Kızılırmak Havzası olduğu tespit edilmiştir (ÇEM, 2023). Aynı şekilde 2023 yılı verilerine göre Türkiye’de toprak kaybı şiddetinin havza düzeyinde dağılımlarının %60,28 çok hafif, %19,13 hafif, %7,93 orta, %5,97 şiddetli ve %6,70 çok şiddetli olduğu tespit edilmiştir (ÇEM, 2023).



Şekil 1.1. Toplam erozyon yüzdesi en yüksek olan havzalar (ÇEM, 2023)

Ülkemizde Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü tarafından erozyon kontrol tedbirlerinin uygulandığı model projeler bulunmaktadır. Bu projelerde erozyona karşı farklı önlemler alınmaktadır. Bunlar arasında fidan dikimi, yamaç işleri tesisleri için çevirme hendeği, taş kordon, örme çit teras, çizgi ot ekimi, ekskavatörle teraslar halinde toprak işleme, ekskavatör ile çukur şeklinde toprak işlemesi, kafes tel serilmesi ve oyuntu ıslahı tesisleri için kuru duvar eşik, kafes tel eşik, çalı demetli eşik, ahşap eşik, toprak sedde, çuvallı sedde gibi tedbirler yer almaktadır. (Pekal, 2009; ÇEM, 2023).

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de erozyon ciddi ve önlem alınması gereken bir problemdir. Maruz kaldığı erozyon ve bunun sonucunda yaşanan problemler göz önüne alındığında Türkiye'nin 25 nehir havzasından biri olan Çoruh Havzası çalışma alanı olarak seçilmiştir. Literatür incelendiğinde Çoruh Havzası'na ait birkaç mikro havzada geleneksel ölçüm yöntemleri kullanılarak erozyon miktarının tahmin edilebilmesi için çalışmalar yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmalar pahalı, zaman alıcı ve havza geneli düşünüldüğünde çok küçük bir bölgeyle sınırlı kalmaktadır. Dolayısıyla bu çalışma ile Çoruh Havzası'nın yüz ölçümünün yarısı kadar büyüklükteki alanında herhangi bir ölçüm verisi kullanmaksızın sadece havzaya ait morfometrik parametrelerin kullanılmasıyla erozyon duyarlılığı incelenmiştir. Çalışmada Çoruh Havzası, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) kullanılarak Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) çalışmalarına paralel olarak yedi adet ana alt havzaya ayrılmıştır. Bu yedi alt havza arasından muhtemel erozyon potansiyelleri göz önüne alınarak üç farklı şehirde konumlanan üç adet alt havza seçilmiş ve bu üç alt havza 93 adet mikro alt havzaya ayrılmıştır. 93 adet alt havzaya ait çizgisel, alansal, rölyef ve jeolojik-hidrolojik

olmak üzere 20 adet parametre incelenmiştir. Parametrelerin her birinin erozyona etkisinin değerlendirilebilmesi amacıyla çeşitli Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (ÇKKV) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan ÇKKV yöntemleri arasında Analitik Hiyerarşi Prosesi (Analytic Hierarchy Process - AHP) yöntemi, Temel Bileşen Analizi (Principal Component Analysis - PCA), Karmaşık Oransal Değerlendirme (Complex Proportional Assessment - COPRAS) yöntemi ve İdeal Çözüme Benzerlik Temeline Göre Tercih Sıralama Tekniği (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution - TOPSIS) yöntemleri yer almaktadır. Ayrıca farklı ağırlık belirleme yöntemleri kullanılarak çalışmada kullanılan 20 parametrenin erozyon duyarlılığı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çoruh Havza'sına ait daha önceden kayıt altına alınmış sınırlı sayıda veri ve Devlet Su İşleri (DSİ) Çoruh Projeleri 26. Bölge Müdürlüğü erozyon ve taşkın önleme uygulamaları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca çalışmada kullanılan çeşitli ÇKKV yöntemleri ile belirlenen ağırlıklardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve parametrelerin erozyon üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde erozyon çeşitleri, erozyon tahmin yöntemlerinden PCA, AHP, COPRAS ve TOPSIS yöntemleri incelenmiş ve erozyon duyarlılığının haritalanması ile ilgili literatürdeki araştırmalar değerlendirilmiş, konu ile doğrudan ilgili çalışmalar kısaca sunulmuştur.

Çalışmanın üçüncü bölümünde Çoruh Havzası'nın konumu, havzaya ait arazi kullanımı, jeolojik ve iklim özellikleri, su kaynakları ve nüfusu gibi özellikleri verilerek havza tanıtılmış, havzada erozyonla ilgili yürütülmüş çalışmalar verilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde Çoruh Havzası'na ait üç alt havzada drenaj ağlarının elde edilmesi, yükseklik, eğim gibi faktörlerin sayısal haritaları, SYM kullanılarak elde edilen alt havzalara ait morfometrik ve jeolojik-hidrolojik parametreler verilmiş, yöntemlerinin uygulama aşamaları hakkında bilgiler sunulmuştur.

Çalışmanın beşinci bölümünde Çoruh Havzası'nda çalışma kapsamındaki üç alt havzada hesaplanmış olan morfometrik parametre değerleri ile jeolojik-hidrolojik parametrelerin tematik haritaları verilmiştir.

Çalışmanın altıncı bölümünde erozyona duyarlı alanların belirlenmesi için uygulanmış ÇKKV yöntemleri ile farklı ağırlık yöntemlerinin kullanılmasıyla elde edilmiş olan erozyona duyarlılık haritaları sunulmuş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Son bölümde ise Çoruh Havzası'na ait üç alt havzadan elde edilen sonuçlar kısaca verilerek, çalışmada kullanılan ağırlık yöntemleri ile ÇKKV metodları değerlendirilmiş ve bundan sonra yapılabilecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Erozyon Çeşitleri

Toprak ve ana kayanın çeşitli nedenlerle aşınması ve taşınması olarak tanımlanan erozyon dünyada birçok bölgede farklı boyutlarda kendini göstermektedir. Çin, Hindistan, Güney Amerika ve Sahra Altı Afrika bölgesi erozyonun en çok gözlemlendiği bölgeler arasındadır. Ülkemizde de farklı bölgelerde farklı erozyon türleri görülmektedir (Balcı ve Ökten, 1987).

Verimli toprakların kaybına neden olan erozyonu etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Doğal şartlar ve insanların etkisiyle erozyon telafisi mümkün olmayacak seviyelere ulaşabilmektedir. Orman yangınları, bilinçsiz eğim yönüne doğru tarla sürmek, araziler amaç dışı kullanma gibi faaliyetler erozyonu hızlandırmaktadır.

Erozyon doğal ve hızlandırılmış erozyon olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğal erozyon sıcaklık, yağış, bitki örtüsü gibi tamamen doğal etkiler ile kayaların parçalanıp ufalanarak toprak oluşumunu sağlaması ve oluşan bu toprağın taşınmasıdır. Doğal erozyonda toprağın oluşum hızıyla erozyon hızı neredeyse birbirine denk gelmektedir. Hızlandırılmış erozyon ise yanlış tarımsal faaliyetler, yanlış sulama, bitki örtüsünün tahrip edilmesi gibi faktörlerden kaynaklı toprağın aşınım hızının toprağın oluşum hızından fazla olduğu erozyon çeşitidir. Hızlandırılmış erozyon aşınmaya sebep olan dış etkenlere göre adlandırılmaktadır. Bunlar su erozyonu, rüzgâr erozyonu ve özel koşullarda gerçekleşen tünel erozyonu, volkanik arazilerdeki çok şiddetli aşınmalar olan korunmuş sütun erozyonu ve kütle hareketleri gibi çeşitleri olan özel erozyon çeşitleridir.

Su erozyonu dünyada en çok görülen erozyon türüdür. Yağış sularının bir bölümü toprak tarafından emilirken bir bölümü emilmeyip yüzeyden akışa geçmektedir. Böylece akışa geçen su nedeniyle aşınma, taşınma ve birikme meydana gelmektedir. Etki şiddetlerine göre yağmur damlası erozyonu, tabaka (yüzey) erozyonu, parmak (oluk) erozyonu, yarıntı (oyuntu) erozyonu olarak gruplandırılmaktadır. Ülkemizde su erozyonunun genel olarak etkili olduğu görülmektedir. İç Anadolu Bölgesi'nde Konya, Aksaray, Nevşehir ve Kırşehir gibi illerde özellikle yanlış tarım uygulamalarından kaynaklı verimli topraklar taşınmakta ve su erozyonu gözlenmektedir. İçerisinde Çoruh Havzası'nı da barındıran Doğu Karadeniz Bölgesi'nde ise fazla eğim nedeni ile su erozyonu yoğun olarak gözlenmektedir.

Rüzgâr erozyonu bitki örtüsünün az olduğu kurak bölgelerde etkilidir. Rüzgârın hızıyla harekete geçen toprak hem en verimli toprağı taşıyarak tarımsal verimi düşürmekte hem de birikerek tepecikler oluşturarak arazi kullanımını zorlaştırmaktadır. ÇEM'in verilerine göre Türkiye topraklarının %90'ı su erozyonu, %1'i de rüzgâr erozyonuna maruzdur (TEMA Vakfı, 2024). Türkiye'de rüzgâr erozyonunun ciddi şekilde görüldüğü yerlerden birisi Manisa Akselendi Ovası'dır (K.Ş. Taysun, A. Taysun ve Özden, 2019).

2.2. Erozyon Tahmin Yöntemleri

Erozyon sonucunda meydana gelebilecek toprak kayıplarının önlenmesi amacı ile birçok araştırma yapılmış, zamanla çeşitli analiz ve yöntemler geliştirilmiştir. Geçmişten günümüze kadar geliştirilen USLE (Evrensel Toprak Kayıp Denklemi-Universal Soil Loss Equation), MPSIAC (Modifiye Edilmiş Pasifik Güneybatı Kurumlararası Komite Yöntemi-Modified Pacific Southwest Inter-Agency Committee), WEPP (Su Erozyonu Tahmin Projesi-Water Erosion Prediction Project), RUSLE (Revize Edilmiş Evrensel Toprak Kayıp Denklemi-Revised Universal Soil Loss Equation), WARSEM (Washington Yol Yüzeyi Erozyon Modeli-Washington Road Surface Erosion Model) gibi yöntemler, toprak kaybını tahmin etmek, erozyon riskini değerlendirmek ve uygun koruma önlemleri belirlemek amacıyla kullanılan ampirik ve fiziksel modellerdir (Mushtaq, Farooq, Tirkey ve Sheikh, 2023).

İlk olarak 1978 yılında Wischmeier ve Smith (1978)'in geliştirdiği USLE yöntemi, genelde tarımsal arazide birim alandaki toprak kayıplarını tahmin etmek amacıyla kullanılmıştır. Eş. 2.1 ile ifade edilen USLE, beş farklı parametrenin bir fonksiyonudur.

$$A_{tk} = f\,(R_g, K, LS, C, P_t) \qquad (2.1)$$

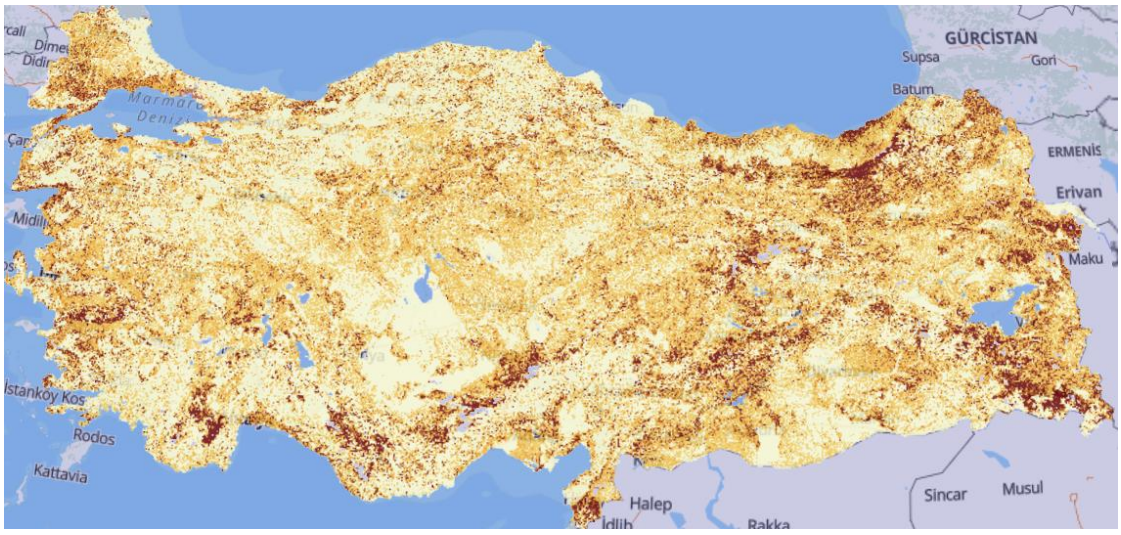
Burada, A_{tk} yıllık ortalama toprak kaybı (ton ha^{-1} $yıl^{-1}$), R_g yağışın aşındırma gücü (MJ mm ha^{-1} h^{-1} $yıl^{-1}$), K toprak erozyon duyarlılığı (ton ha^{-1} ha MJ^{-1} h mm^{-1}), LS topoğrafik faktör yani arazi eğiminin uzunluğu ve dikliğinin fonksiyonu (birimsiz), C bitkisel örtü ve ürün yönetimi (birimsiz) ve P_t toprak koruma yöntemlerini (birimsiz) ifade etmektedir. Bu yöntem kullanılarak çok sayıda çalışma ve proje yapılmıştır.

Her alanda olduğu gibi teknolojideki gelişmeler de erozyon nedeniyle meydana gelen toprak kaybının tahmini için yeni yöntem ve yaklaşımların gelişmesini sağlamıştır. Günümüzde

birçok alanda yaygın olarak kullanılmakta olan, zaman ve ekonomik açıdan en çok tercih edilen bilgi sistemi olan Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile toprak kayıplarının tahmin edilmesi yaygınlaşmıştır. CBS, özellikle erozyon nedeni ile meydana gelen toprak kaybını etkileyen parametrelerin hesaplanması için gereken verileri ihtiyaçlara yönelik toplayıp, depolayan ve matematiksel değerleri hızlı bir şekilde değerlendiren yöntemlerde kullanılmaktadır. Ayrıca sonuçların kolayca gözlemlenip değerlendirilebildiği haritalar oluşturmasıyla da CBS tercih edilmektedir.

Bu gelişmelere paralel olarak 1994 yılında USLE revize edilerek sadece tarımsal arazilerde değil, ormanlık alanlar, otoyol setleri, kentsel kullanım alanları gibi büyük alanlarda da kullanıma uygun RUSLE yöntemi geliştirilmiştir (Danacıoğlu ve Tağıl,2017). RUSLE modelinde erozyon miktarı erozyona etki eden faktörlerin (yağış, toprak, topografya, bitki örtüsü, koruyucu önlem) bir bileşkesi olarak değerlendirilmektedir (Renard, Laflen, Foster ve McCool, 2017). Matematiksel olarak USLE ile aynı Eş. 2.1 ile ifade edilmektedir. Ancak faktörlerin hesaplanma yaklaşımları farklılık göstermekte ve CBS ile parametrelerin havza genelinde piksel olarak haritalarının oluşturulması sağlanmaktadır.

RUSLE yöntemi Türkiye'de olduğu gibi Çin, Hindistan, Brezilya ve Avrupa'da da toprak erozyonu miktarlarının hesaplanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle tarımsal üretimin yoğun olduğu ve erozyon riskinin yüksek olduğu ülkelerde etkin şekilde uygulanmaktadır. Bu yöntemin parametrelerine ait katmanlarının bir araya getirilmesi ile ÇEM tarafından hazırlanan Harita 2.1'de Türkiye Su Erozyonu Haritası verilmiştir.



Harita 2.1. Türkiye su erozyonu haritası (ÇEMGM, 2024)

Ülkemizin farklı bölgelerinde erozyona duyarlı alanların belirlenmesi ve toprak kaybının tahmini için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Örneğin Kılıç, Duman ve Ersayın (2018) çalışmasında, Çekerek Havzası'na ait erozyon modellemesi için USLE yönteminden faydalanmıştır. Çekerek Havzası için 18 ton ha^{-1} $yıl^{-1}$ ortalama yıllık toprak erozyon meydana geldiği belirlenmiş ve bu yüksek erozyon miktarı için mücadele planlamaları geliştirilmiştir. Başka bir çalışmada Tüfekçioğlu ve Yavuz (2016), Çoruh Havzası alt havzalarından biri olan Yusufeli Mikro Havzası için RUSLE yöntemi ile su erozyonu çeşitlerinden olan yüzey erozyonu toprak kaybının tahmin edilmesine yönelik çalışma yapmıştır. Çalışma sonucunda araştırmacılar bitki örtüsünün az olduğu bu mikro alt havzada güneşin etkisinin çok olması nedeniyle toprak neminin düşük, erozyonun yüksek olduğu sonucuna varmışlardır.

Bir başka çalışmada Sunkar ve Avci (2015), Elazığ'da yer alan Hasret Dağı ve çevresini erozyon duyarlılığı açısından incelemişlerdir. Bu bölgenin önemi Hasret Dağı'nın güney kısmının Elazığ Fayı tarafından kesilmesi nedeniyle engebeli bir yapıya sahip olmasıdır. Kesilen bölgede erozyon kaynaklı malzeme taşınımı sebebiyle tarım ve yerleşim yerleri etkilenmekte ve Keban Baraj Gölü'nde siltasyon gerçekleşmektedir. CBS ve Uzaktan Algılama (UA) yöntemlerinden faydalanarak akarsu yoğunluğu, bitki örtüsü ve eğim gibi özellikler belirlenmiş, önem derecelerine göre sıralanarak bölge için erozyon duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda bölgede erozyonun yüksek olduğu, iklim ve insan faaliyetlerinin ise süreci hızlandırdığı sonucuna varılmıştır.

Literatürde USLE ve RUSLE yöntemleri kullanılarak yapılan çalışmaların yanı sıra morfometrik analizle bir havzanın erozyona duyarlı bölgelerinin belirlenmesi amacıyla yapılmış olan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Havzanın erozyona duyarlılık haritasının elde edilmesi için kullanılan morfometrik parametreler ve analiz yöntemleri farklılık göstermektedir (Çoruhlu ve Akıncı, 2021). Örneğin Görür ve Karadeniz (2018), Eğirdir Gölü Havzası'nda CBS yardımı ile morfometrik analiz yapmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda havza şekli ve drenaj durumunun, havzanın jeolojik yapısının, ani taşkın oluşma ihtimali ve erozyona duyarlılık açısından önemli etkiler sağladığını belirlemişlerdir. Benzer bir çalışmada İmamoğlu (2020), Alaca Çayı Havzası'nın erozyon ilişkisini morfometrik parametreler ile incelemiştir. Çalışmada havza reliefi, form faktörü, gravelius indeksi, akarsu sıklığı, drenaj yoğunluğu, uzunluk oranı, şekil indeks değeri, çatallanma oranı, hipsometrik eğri analizi, tekstür oranı ve engebelilik değeri olmak üzere çeşitli morfometrik parametreler

kullanarak erozyona duyarlı alanları belirlemişler ve havza yönetimini kolaylaştıracak öneriler yapmışlardır. İmamoğlu, akarsu yoğunluğunun düşük havza alanının büyük olması nedeniyle havzanın infiltrasyona elverişli olduğu ve havzanın dairesel yapısı nedeniyle, ani sağanak yağışlar sonrası akarsu seviyesinin hızla yükselmesiyle oluşan taşkınlar sonucunda yoğun erozyona maruz kalabildiği sonucuna varmıştır. Bir diğer çalışmada Dursun ve Babalık (2023), Burdur Gölü Havzası'ndaki SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)'den elde edilen SYM verisinden yararlanarak morfometrik parametreleri hesaplamış ve havzanın erozyon duyarlılığını değerlendirmek için morfometrik parametrelerden yararlanmıştır. Araştırmacılar ayrıca hidrolojik çalışmaların toprak erozyonunun önlenmesi gibi birçok hayati konuda önemli bir araç olduğunu vurgulamışlardır. Çoruh Havzası'nda yaptıkları çalışmalarında Zengin, Özer ve Özgül (2009), Erzurum ili İspir ve Pazaryolu ilçelerinin iklim durumu, bitki örtüsü, yükseklik ve eğim durumunu göz önüne alarak çalışma alanının erozyon duyarlılığını incelemişlerdir. Sonuç olarak çalışma alanında şiddetli derecede erozyon meydana geldiği tespit edilmiştir.

Çalışma alanının morfometrik özelliklerinin kullanılmasıyla yapılan morfometrik analiz yönteminin en büyük dezavantajı kullanılan parametrelerin çalışma konusu üzerindeki örneğin taşkın veya erozyon duyarlılığı etkilerinin eşit alınmasıdır. Ancak gerçekte her parametrenin aynı etkiye sahip olması mümkün değildir. Bu nedenle morfometrik analizlerde parametrelerin incelenen olay üzerindeki etkilerini dikkate almak için çeşitli ağırlık yaklaşımları geliştirilmiştir. Yani çalışma kapsamında dikkate alınan farklı morfometrik parametrelerin çalışılan konu üzerindeki etkilerine göre ağırlıkları belirlenerek analiz yapılmaktadır. Bu problemin çözümü için özellikle son yirmi yıl içerisindeki her alan da uygulanabilen Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerimden yararlanılmaya başlanmıştır. ÇKKV yöntemleri, farklı kriterleri dikkate alarak en uygun seçeneği belirlemeye yardımcı olan analitik karar destek yöntemleridir. Erozyon tahmini ve duyarlı bölgelerin tespitinde, iklim, toprak yapısı, arazi kullanımı ve topografya gibi çeşitli faktörlerin birlikte değerlendirilmesi gerektiğinden, ÇKKV yöntemleri önemli rol oynamaktadır. Bu yaklaşımlar, belirlenen kriterleri ağırlıklandırarak en hassas bölgelerin belirlenmesini sağlamaktadır. AHP, TOPSIS, COPRAS ve VIKOR (Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm Yöntemi- Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) gibi yaygın kullanılan ÇKKV yöntemleri, CBS ile entegre edilerek, erozyona duyarlı alanların analizinde etkili bir araç olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Dünyanın farklı bölgelerinde erozyona duyarlı alanların belirlenmesi ve toprak kaybının tahmini için ÇKKV yöntemleri kullanılarak birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar özellikle erozyon problemi yaşayan Hindistan, İran ve Çin gibi ülkelerde yoğunlaşmaktadır. Ameri, Pourghasemi ve Cerda (2018), İran'ın toprak erozyonu bakımından hassas olan Ghaemshahr Havzası'na ait alt havzalarının morfometrik parametre analizi ve ÇKKV yöntemi ile erozyona duyarlılığını incelemişlerdir. Çalışmada Basit Toplamalı Ağırlıklandırma (Simple Additive Weighting-SAW), VIKOR, TOPSIS ve Birleşik Faktör (Combined Factor-CF) modelleri yer almaktadır. Erozyon duyarlılığının etkisinin yüksek olduğu düşünülen 23 adet morfometrik parametre belirlenerek analizler yapılmıştır. Bu parametreler ile uygulanan tüm modellerin sonuçları incelendiğinde VIKOR yönteminin diğer modellere göre daha yüksek tahmin gücüne sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Pournader, Ahmadi, Feiznia, Karimi ve Peirovan (2018), İran'ın Golgol Havzası'nda erozyonu etkileyen on morfometrik parametre alarak maksimum entropi modeli ile erozyon hassasiyetini incelemiştir. Entropi modeli ile parametrelerin ağırlıklarını belirleyerek, erozyon hassasiyetinin her bir parametreyi nasıl etkilediğini ortaya koymuştur. Bir diğer çalışmada Sadhasivam, Bhardwaj, Pourghasemi ve Kamaraj (2020), Hindistan'ın Dnyanganga Havzası'nda erozyon duyarlılık haritasını belirlemek için havzanın morfometrik özelliklerden yararlanmışlar ve analizler için çeşitli ÇKKV yöntemleri kullanmışlardır. Modellerden CF, AHP ve önceliklendirme tekniği olarak TOPSIS-AHP yöntemlerini kullanmışlardır. AHP yöntemindeki karşılaştırılmalı karar matrisindeki değerler uzman görüşleri esas alınarak belirlenmiştir. Parametrik olmayan testlerden SCCT (Spearman Korelasyon Katsayısı Testi) ve KTCCT (Kendall Tau Korelasyon Katsayısı Testi) kullanılmış ve TOPSIS-AHP modelinin erozyon duyarlılığı açısından önceliklendirme işleminde daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır. Benzer bir çalışmada Arabameri, Tiefenbacher, Blaschke, Pradhan ve Tien Bui (2020), İran'ın Kalvarı Havzası'nda CBS'den yararlanarak morfometrik özellikler yardımıyla havzadaki su erozyonuna duyarlılığını incelenmişlerdir. Belirlenen 16 adet morfometrik parametre yardımıyla birden fazla yöntem ile alt havzaların erozyon duyarlılıkları belirlenmiştir. AHP-COPRAS birleşik yöntemleriyle elde edilen sonuçlar, MPSIAC modeli ile SCCT ve KTCCT kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu modellerin karşılaştırılması sonucunda AHP-COPRAS birleşik modelinin en yüksek tahmin gücü olan yöntem olduğu tespit edilmiştir. Yüksek kaliteli DEM haritaları ile hazırlanan erozyon duyarlılık haritalarının, erozyon önleme çalışmaları, rezervuarlarda oluşan sediment birikiminin önlenmesi ve taşkın potansiyelinin azaltılması gibi çalışmalar için kılavuz niteliğinde olduğu vurgulanmıştır.

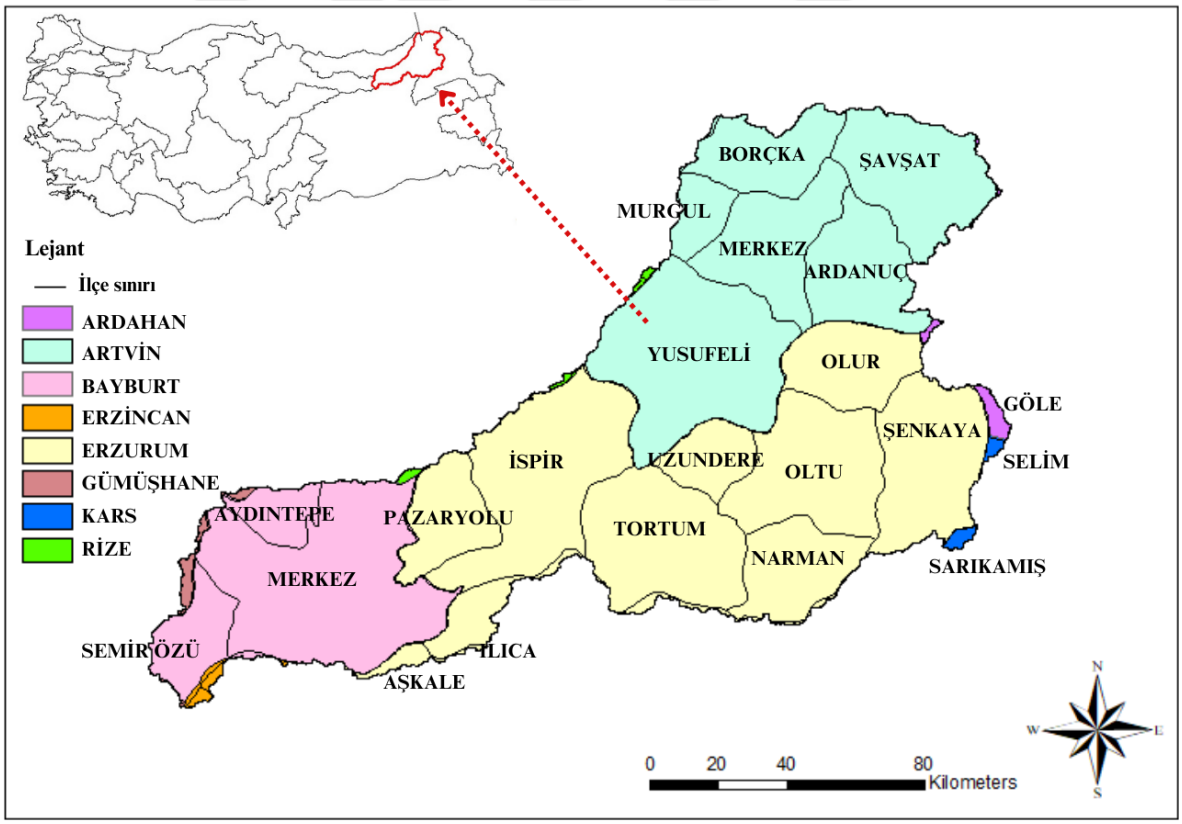
Türkiye'de yapılan ÇKKV çalışmalarından Güney (2018), Selendi Çayı Havzası'nda (Manisa) yaptığı çalışmada iklim değişikliğinin erozyon duyarlılığına etkilerini incelemiş ve havza için erozyon duyarlılık analizi yapmıştır. Çalışmada jeolojik, topoğrafik, çevresel, hidrografik ve klimatik olmak üzere beş farklı parametre dikkate alınmış ve çok kriterli karar verme ve frekans oranı yöntemleriyle erozyon duyarlılık haritası hazırlamıştır. Hazırlanan erozyon duyarlılık haritalarının doğruluğunu kontrol etmek amacıyla bir yıl boyunca arazide mikrotopoğrafya profil ölçüsü ve erozyon çivisi istasyonları kurularak ölçüm yapılmıştır. Sonuç olarak erozyon duyarlılık analizi çalışmasında, topoğrafyanın hazırlanan erozyon duyarlılık haritasında en etkili parametre olduğu sonucuna varılmıştır. Turan ve Uzun (2021) çalışmalarında, Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Çorum Çayı Havzası için AHS (Analitik Hiyerarşik Süreç) ve Doğrusal Kombinasyon Tekniği (DKT) yöntemlerini kullanarak toprak erozyon duyarlılığını incelemişlerdir. Yapılan analizler sonucunda erozyon duyarlılık haritasında havzanın % 41,6'sında çok şiddetli erozyon duyarlılığı olduğu belirlenmiştir.

Erozyona karşı oldukça hassas olan çalışma alanına ait literatür incelendiğinde, Çoruh Havzası'nda erozyon tahmini için genellikle sınırlı sayıda mikro havzada çalışma yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmaların ağırlıklı olarak geleneksel saha ölçümleri ve gözlemlere dayalı, zaman alıcı ve maliyetli yöntemlerle yapılan erozyon tahmini çalışmaları olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmaların kapsamı çoğunlukla dar alanlarla sınırlı olduğundan havzanın bütününü temsil etmede yetersiz kalmışlardır. Dolayısıyla bu çalışma ile sedimentle ilgili herhangi bir saha ölçümünden yararlanmadan, havzanın morfometrik ve jeolojik-hidrolojik özelliklerine ait parametreler uzaktan algılama ve CBS yardımıyla hesaplanmış ve ÇKKV yöntemleri kullanılarak bu parametrelerin değerlendirilmesiyle Çoruh Havzası'nın yaklaşık yarısını kapsayan çalışma alanının erozyon duyarlılık haritaları elde edilmiştir.

3. ÇALIŞMA ALANI

3.1. Genel Bilgiler

Çoruh Havzası, dik yamaçlı topoğrafyası, yoğun yağış rejimi ve hatalı arazi kullanımı gibi etkenler nedeniyle Türkiye'nin en ciddi erozyon problemleriyle karşı karşıya kalan havzalarından biridir. Tüm bu nedenlerle, bu çalışmada erozyon duyarlılığı açısından kritik öneme sahip olan Çoruh Havzası, çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çoruh Nehri'nin havzası olan Çoruh Havzası, Türkiye'nin kuzeydoğusunda yer almaktadır. Gürcistan sınırına bitişik bir alanda bulunmaktadır. Havzanın Türkiye sınırları içindeki büyüklüğü 20 265 km^2, Gürcistan sınırları içindeki büyüklüğü 2 353 km^2'dir. Havza, 39°52' ve 41°32' kuzey enlemleri ile 39°40' ve 42°35' doğu boylamları arasındadır (Harita 3.1).



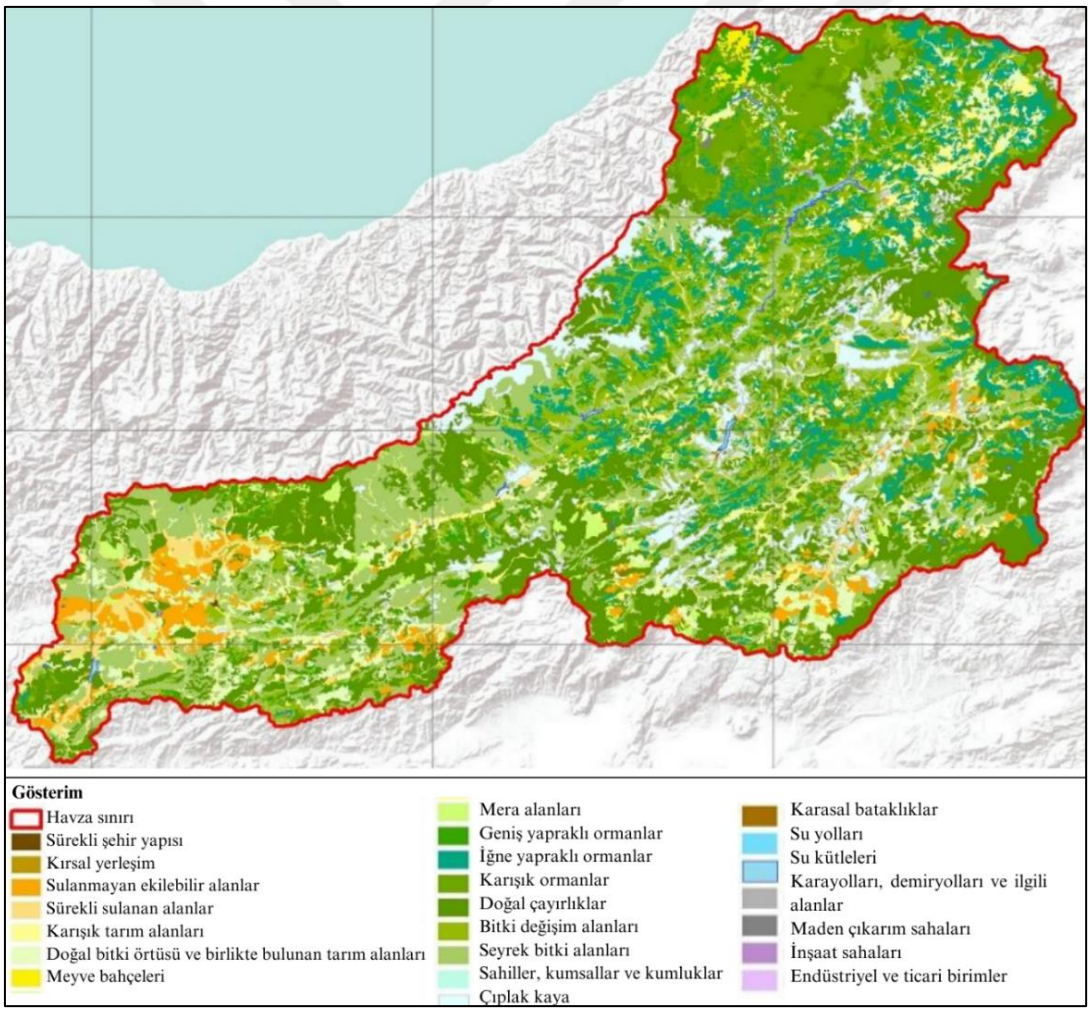
Harita 3.1. Çoruh Havzası konumu

Toplam uzunluğu 466 km olan Çoruh Nehri, Erzurum ilinin Mescit Dağları'ndan doğar ve Bayburt ilinde Kurt Çayı ile birleşerek Masat Çayı ismini alır. Bayburt il merkezinden sonra Büyükçay ile birleşir ve burada Çoruh adını alır. Erzurum ilinden geçtikten sonra Artvin iline ulaşır ve Türkiye sınırlarını terk ederek yaklaşık 50 metre kotundan Gürcistan

üzerinden Batum şehrinden Karadeniz'e dökülür (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019). Çoruh Havzası, kapladığı alan büyükten küçüğe doğru sıralandığında Erzurum, Artvin, Bayburt, Ardahan, Gümüşhane, Kars, Erzincan, Rize ve Trabzon olmak üzere 9 ilden oluşmaktadır.

3.2. Arazi Kullanımı

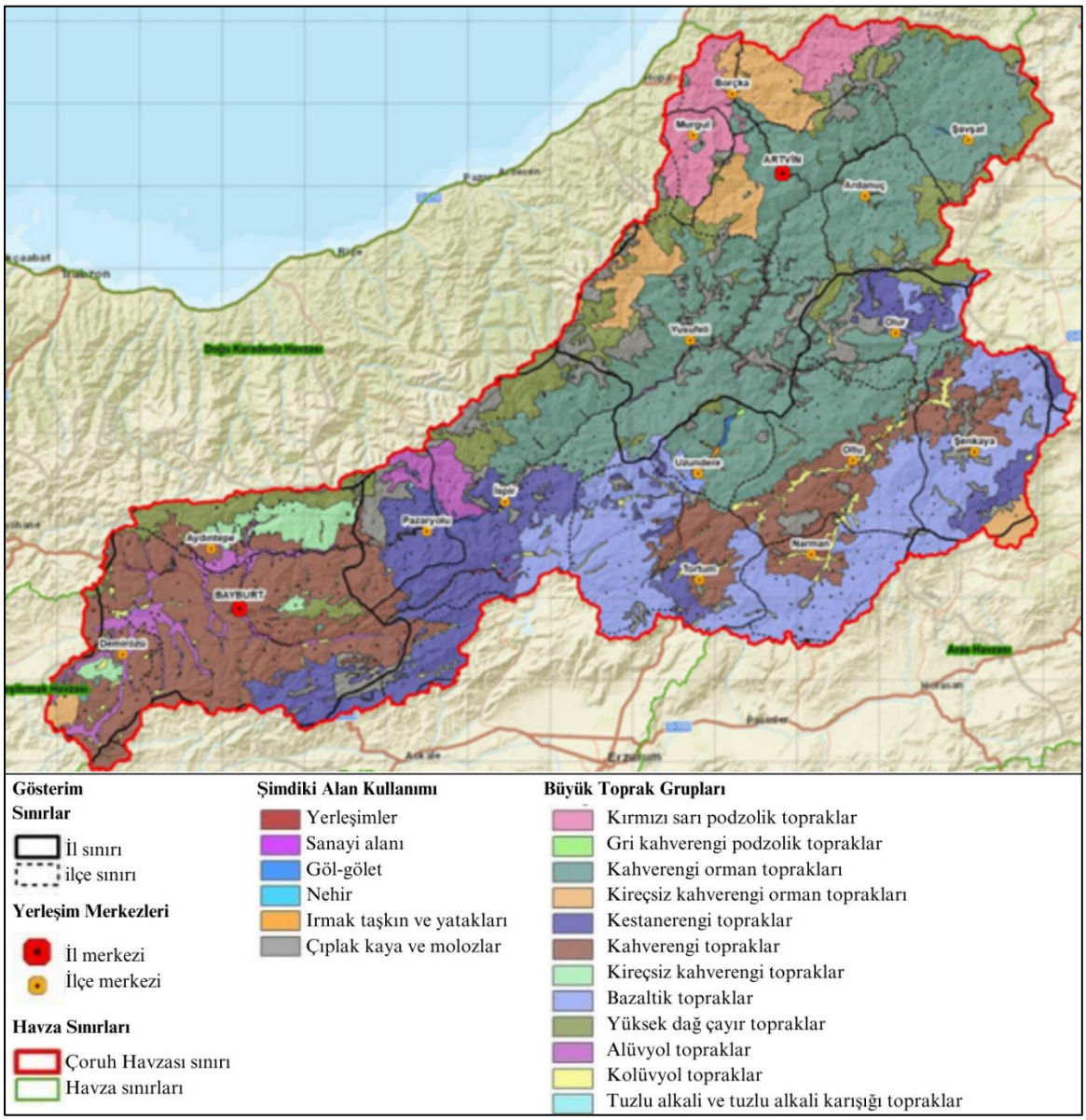
Coordination of Information on the Environment (CORINE) 2018'in 2020 yılı güncellemesine göre, Çoruh Havzası'nda arazi kullanımı incelendiğinde havzanın büyük ölçüde ormanlar ve yarı doğal alanlarla (%80,5) kaplı olduğu görülmektedir (Harita 3.2). Daha sonrasında ise tarım alanları (%18,8) gelmektedir. Havzanın en az alanı ise %0,05 ile bataklık gibi sulak alanlardan oluşmaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023).



Harita 3.2. Çoruh Havzası arazi kullanımı (CORINE, 2020)

3.3. Jeolojik Özellikler

9 ilden oluşan Çoruh Havzası'nda 18 farklı büyük toprak grubu mevcuttur (Harita 3.3). En büyük toprak grubu %27,5 ile kahverengi orman toprakları, ardından yaklaşık %18 ile kahverengi topraklardır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019). Çoruh Havzası'nda arazi kullanımı incelendiğinde en büyük bölümün yaklaşık %41 ile mera, ardından %28 ile orman alanı olduğu görülmektedir. Bunu sırasıyla %10 ile kuru tarım, %7 ile çıplak kaya ve molozlar, %6 ile fundalık alanları takip etmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı,2020).



Harita 3.3. Çoruh Havzası büyük toprak grupları haritası (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019)

3.4. İklim Özellikleri

Çoruh Havzası konumu gereği geçiş bölgesi iklim özelliklerine sahiptir. Karadeniz iklimi ile karasal iklim arasında kalmaktadır. Havzanın uzun yıllara ait bütün istasyonlar dikkate alınarak sıcaklık değerlerine bakıldığında uzun yıllar aylık ve yıllık ortalama sıcaklık değeri 9,4°C olarak tespit edilmiştir (Tarım ve Orman Bakanlığı,2020).

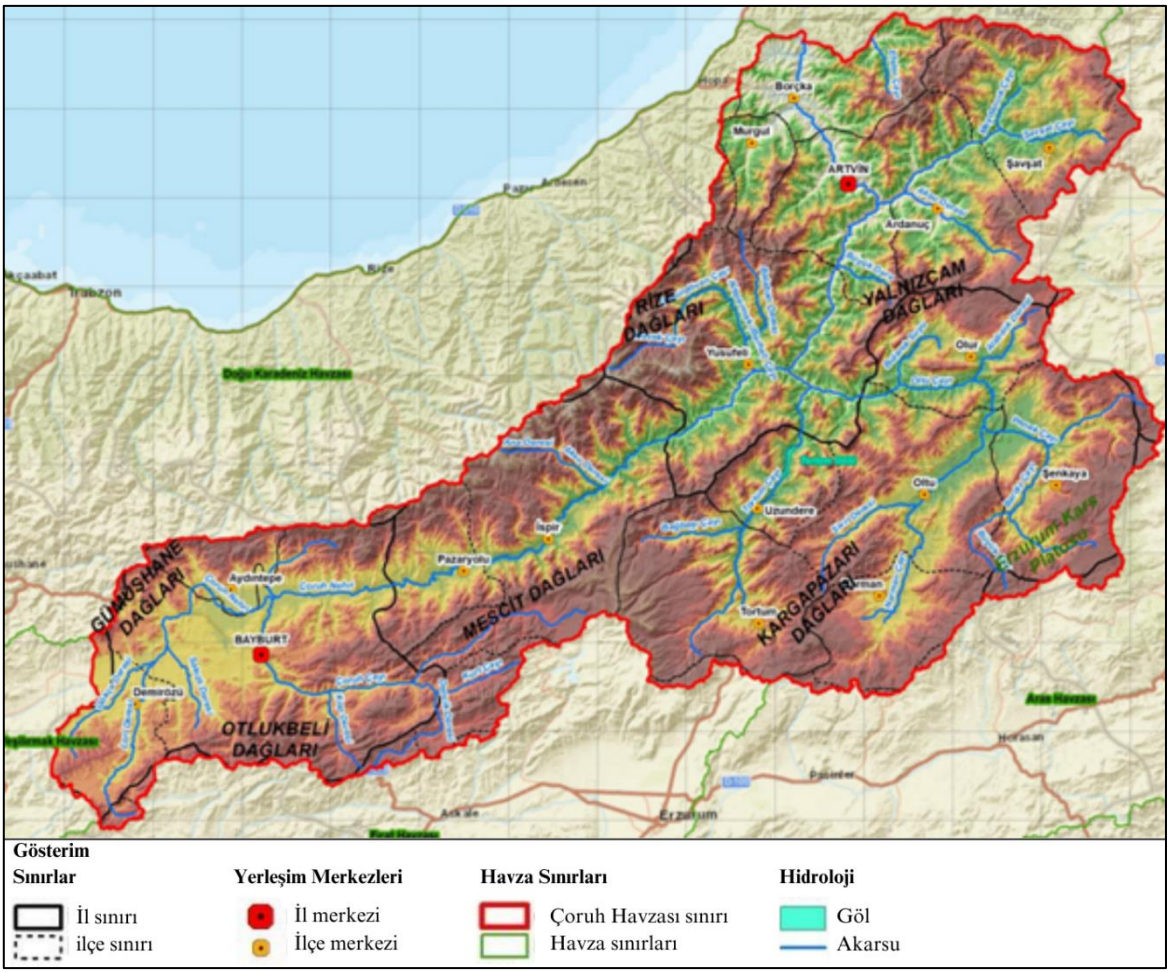
Havza alanı içinde en çok alana sahip Erzurum, Artvin ve Bayburt şehirlerinin iklim özelliklerine bakıldığı zaman Erzurum ili için kışlar çok soğuk, Artvin ilinin özellikle kıyı kesimleri ılık ve yağışlı, Bayburt ilinde ise kışları soğuk, yazları sıcak olan geçiş iklimi egemendir.

Çoruh Havzası için meteoroloji istasyonlarının ölçümleri sonucu yıllık ortalama yağışı İzohital yöntemiyle 551,94 mm, Thiessen Poligonu yöntemi ile 561,84 mm olarak hesaplanmıştır. En fazla yağış görüldüğü mevsim ilkbahardır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019).

3.5. Su Kaynakları

Türkiye'nin en büyük akarsularından biri olan Çoruh Nehri, kaynağını Erzurum sınırlarında yer alan Mescit Dağı'ndan almaktadır (Harita 3.4). Kaynağından denize mesafesi 466 km iken Türkiye topraklarında 442 km'si yer almaktadır. Çoruh Nehri'ne katılan önemli akarsular Oltu Çayı, Tortum Çayı ve Berta Çayı'dır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019).

Çoruh Nehri ana kolunda, Artvin ili sınırlarında yer alan mansaptan membaya doğru Muratlı, Borçka, Deriner, Artvin ve Yusufeli Barajları bulunmaktadır (Pekal, 2009). Ayrıca havzada Tortum Gölü, Karagöl, Libler Gölü, Paşkaya Gölü gibi göller yer almaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019). Çoruh Havzası'nın 50 m kotundan ülkemizi terk etmesi, tarımsal su kullanımının az olması ve kısa mesafede yüksek düşüler sağlaması sebebiyle hem baraj hem de nehir tipi santraller için çok uygun görülmektedir (Fakıoğlu ve Kağnıcıoğlu, 2009).



Harita 3.4. Çoruh Nehri ve Çoruh Nehri'ni besleyen dereler (Tarım ve Orman Bakanlığı 2019)

3.6. Şehirleşme ve Nüfus Özellikleri

Çoruh Havzasını kapsayan 9 ilin ilçeleri incelendiğinde en yoğun ilçe Artvin Merkez olarak tespit edilmiştir. Kırsal ağırlıklı bir bölge olan Çoruh Havzası'nda ekonomik sebeplerden kaynaklı genç nüfusun göç ettiği, daha çok yaşlı nüfusun yoğun olduğu görülmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019).

Halk genelde tarım ve hayvancılık ile geçinirken hidroelektrik projeleri ekonomik anlamda bölgeye çok büyük katkı sağlamaktadır. Havzada tarım alanı büyükleri kıyaslandığında sırasıyla Bayburt, Erzurum ve Artvin illeri yer almaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019). Ayrıca hayvancılığın da havza için önemli gelir kaynağı olduğu dikkat çekmektedir. Özellikle Erzurum ili Türkiye için hayvancılıkta önemli sırada yer alan illerdendir.

3.7. Havzada Erozyon Durumu ve Önleyici Çalışmalar

Türkiye'nin erozyona en duyarlı ikinci havzası olması nedeniyle havzada erozyon kontrol çalışmaları çok uzun yıllardır devam etmektedir. Rehabilitasyon projeleri kapsamında teraslama ve otlatma planlamaları, ağaçlandırma, baraj ve hidroelektrik çalışmaları sayesinde uzun vadede erozyon riski azaltılmaya çalışılmaktadır.

Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü ile Japonya Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) arasında Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi gerçekleştirilmiştir. Projede amaç havzanın bozulan doğal dengesini yeniden sağlayarak havzada erozyon kontrolü ve doğal kaynakların korunmasını sağlamaktır. Çoruh Havzası tarım ve hayvancılığa elverişli bir bölge olmakla birlikte kolayca aşınan toprak yapısı ve topoğrafyası nedeniyle ciddi oranda erozyona maruz kalmaktadır. Proje kapsamında 1 Ekim 2012 - 31 Aralık 2018 tarihleri arasında Oltu, Olur Merkez, Tortum Kuzey Mikro Havzalarında erozyon gözlem çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda kanal ve oyuntu erozyon miktarları ölçülmüş ve bu üç mikro havzadaki ölçümler sonucunda meydana gelen erozyonun %85'inin oyuntu erozyonuyla gerçekleştiği, kanal ve oyuntu erozyonuyla kaybolan ortalama toprak miktarının ise 41 348 ton/yıl olduğu tespit edilmiştir. Dere yataklarında meydana gelen erozyonu önlemek amacıyla tel kafes, kuru duvar ve eşik gibi önlemler alınmış ve bu önlemlerle ne kadar toprak tutulduğu hesaplanmıştır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023).

Ayrıca, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü erozyon kontrol tedbirlerinin uygulandığı Çoruh Vadisi-Deriner Barajı Altında Kalacak Endemik ve Nadir Bitkilerin Tesbiti, Nakledilmesi ve Yetiştirilmesi model projesi geliştirmiştir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023). 2012 yılında uygulamaya geçen bu proje ile endemik ve nadir bitki türlerinden uzun süre su altında kalma riski olanlar tespit edilip uygun ortamlara taşınarak, yetiştirilmeleri ve çoğaltılmaları amaçlanmıştır.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

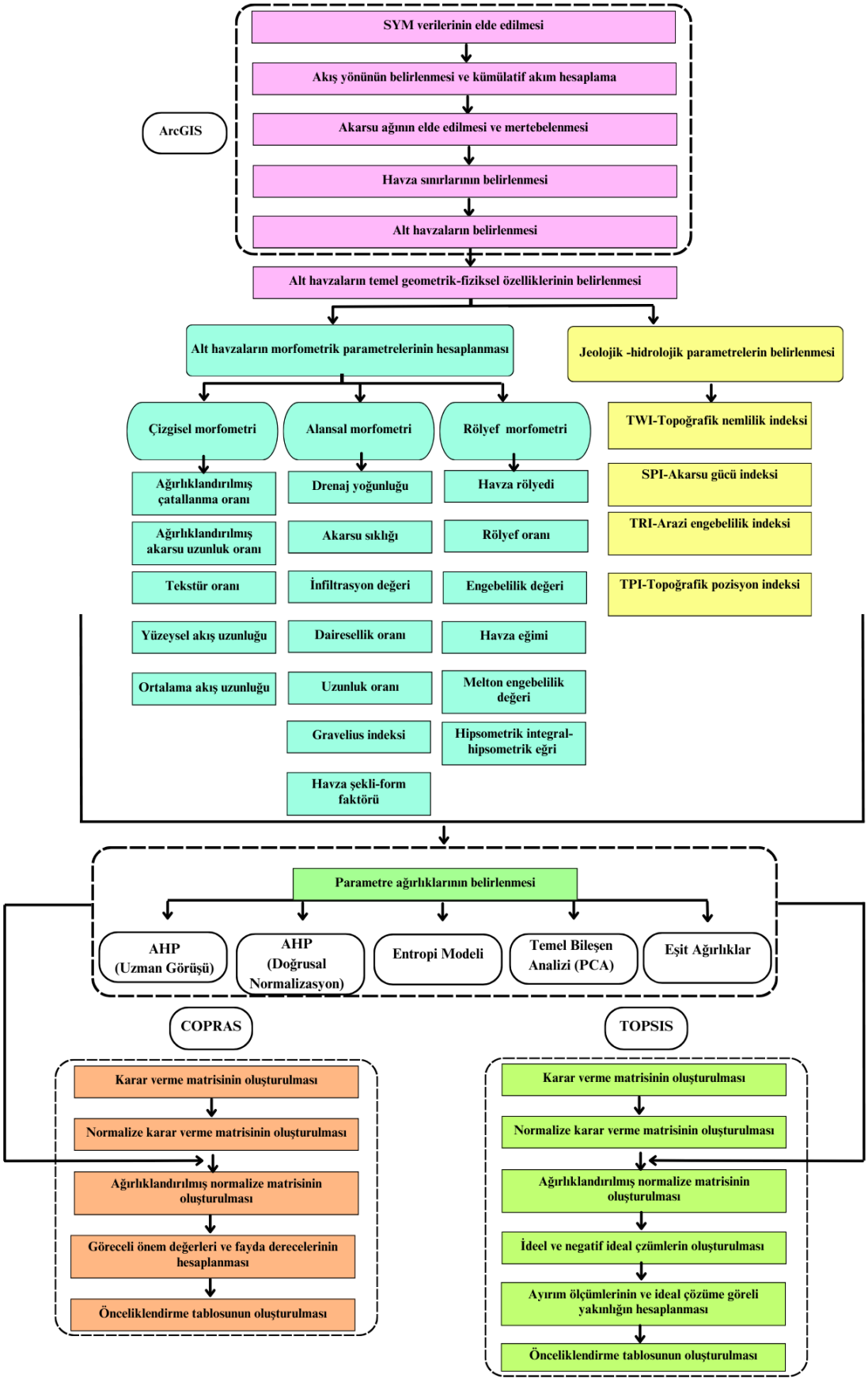
4.1. Metodoloji

Çoruh Havzası'nda yer alan üç alt havzada erozyona duyarlı alanların belirlenmesi için yapılan bu çalışmada uygulanan metodoloji Şekil 4.1'de verilmiştir. Öncelikle ArcGIS 10.8 yazılımı ile bölgeye ait SYM elde edilmiş ve drenaj ağlarından yararlanarak alt havzalar oluşturulmuştur. Her bir alt havzada erozyon duyarlılığını belirleyebilmek amacıyla birçok yöntem kullanılmıştır. Önceliklendirme işlemini COPRAS ve TOPSIS ile gerçekleştirebilmek için her bir parametrenin ağırlıklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürdeki çalışmalardan parametre ağırlıklarının sonuçlar üzerinde önemli etkiye sahip olduğu bilindiğinden ağırlıkların belirlenebilmesi için çalışma kapsamında farklı yaklaşımlardan yararlanılmıştır. Çalışmada uygulanan yöntemler kriterlerin (parametrelerin) göreceli önem derecelerinin uzman görüşleri doğrultusunda belirlendiği ve Saaty'nin (1980) özvektör yönteminin kullanıldığı AHP yöntemi, parametrelerin doğrusal normalizasyon yaklaşımlarından biri olan tehlike derecesi ile kriter ağırlıklarının belirlendiği AHP yöntemi, kriterler için eşit ağırlıkların kullanıldığı yaklaşım ile uzman görüşünün bulunmadığı durumda kriter ağırlıklarının objektif değerlendirilebilmesi için uygulama bulan entropi yöntemi ve erozyon duyarlılığı üzerinde etkili parametrelere karar verilerek ağırlıklarının belirlendiği temel bileşen analizidir. Her bir yöntem sonucu elde edilen parametre ağırlıkları, COPRAS ve TOPSIS yöntemlerinde kullanılarak alt havzalar erozyon duyarlılıklarına göre önceliklendirilmişlerdir.

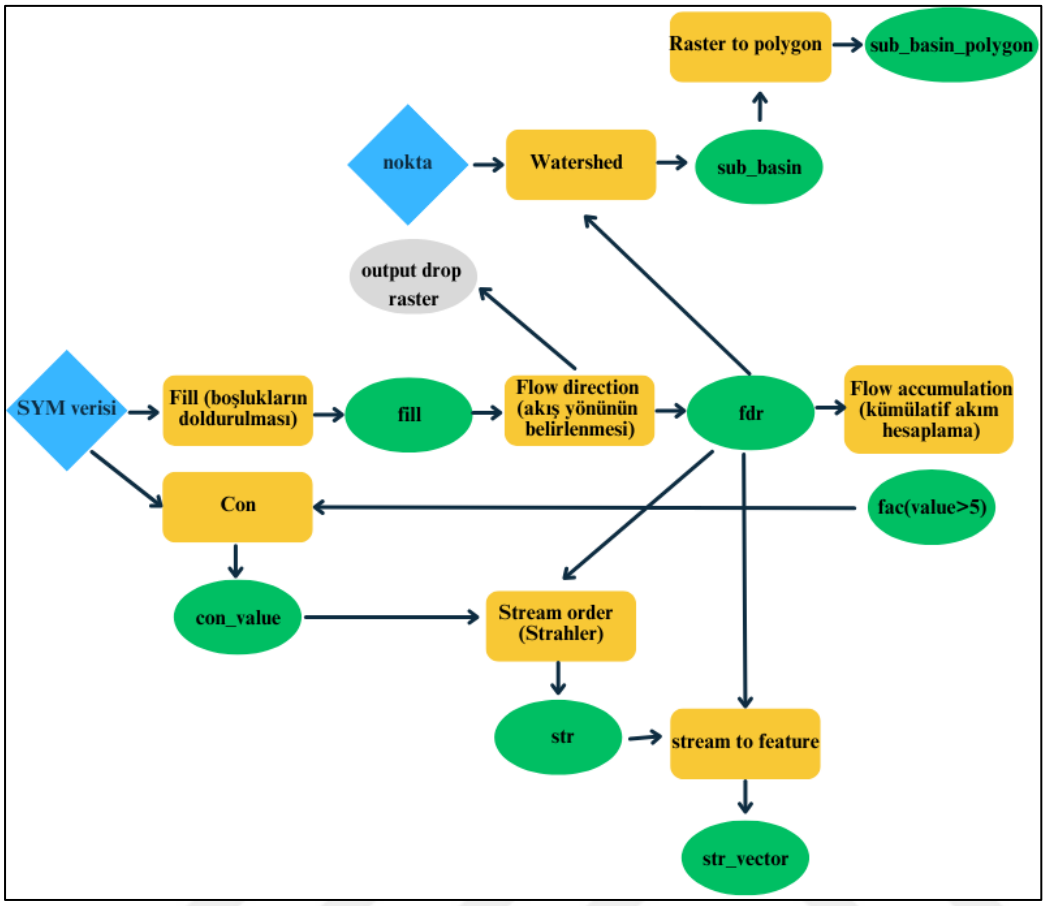
4.2. Çalışma Alanı Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve Alt Havzaların Oluşturulması

4.2.1. SYM'nin oluşturulması

Çoruh Havzası'nın sınırları, temel geometrik verileri ve morfometrik analiz parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan veriler, ArcMap 10.8 programı ile tespit edilmiştir. Veriler yüklendikten sonra ArcGIS 10.8'de koordinat sistemi olarak TUREF TM42 (Türkiye Ulusal Referans Sistemi 42 dilim orta meridyeni) tanımlanmıştır. Tematik haritaları oluşturabilmek için ArcGIS'de uygulanan adımlar Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Çalışmada izlenen metodoloji

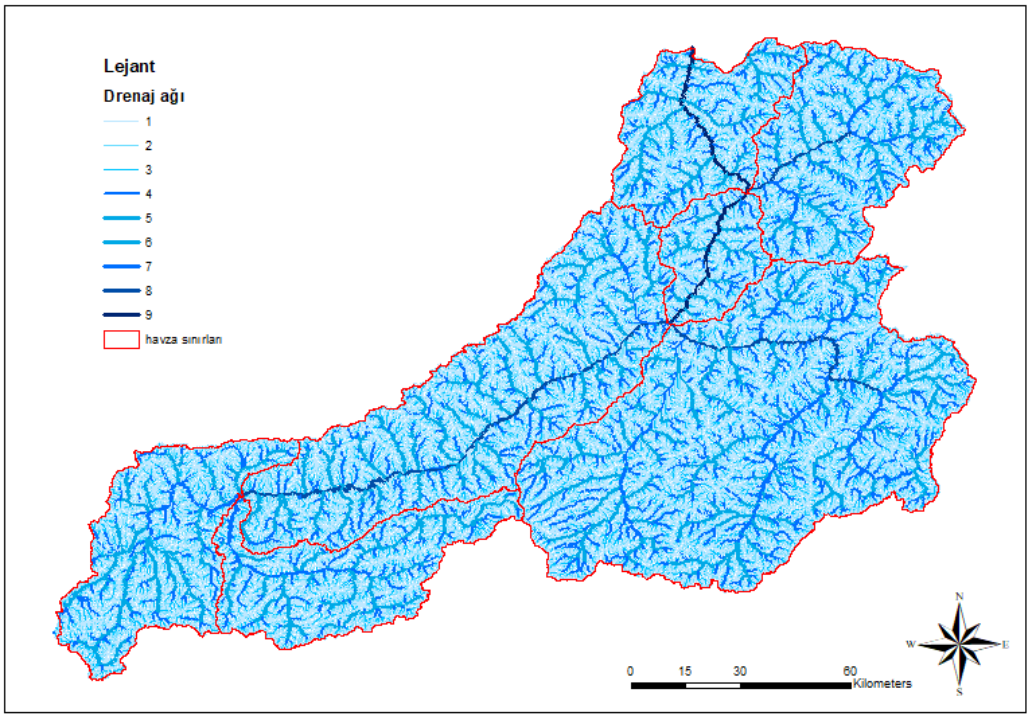


Şekil 4.2. ArcGIS çalışma aşamaları (model builder)

Şekil 4.1'de verilmiş olan ArcGIS akış şemasında görüldüğü üzere ilk adım olarak, 80x80m çözünürlüğündeki SYM'de bulunabilecek boşluk hatalarını giderebilmek ve morfometrik analizlerin daha sağlıklı yapılabilmesini sağlamak amacıyla her hücredeki boşluklar doldurulmuş (fill sinks), yüzey akışı oluşması sağlanmıştır. Daha sonra hidrolojik analiz araçlarından doğal akış yönü (flow direction) ile akışın hangi yöne ilerleyeceği belirlenmiştir. Akım yönünün belirlenmesinde D8 (8 yönlü akış) algoritması kullanılmıştır (Özdemir ve Bird, 2009). Bu yaklaşıma göre akımın, 8 hücre içerisindeki yükseklik değerleri karşılaştırılarak, en düşük olan yöne doğru hareket ettiği kabul edilir ve böylece kümülatif akım (akış toplamı-flow accumulation) belirlenmiş olur.

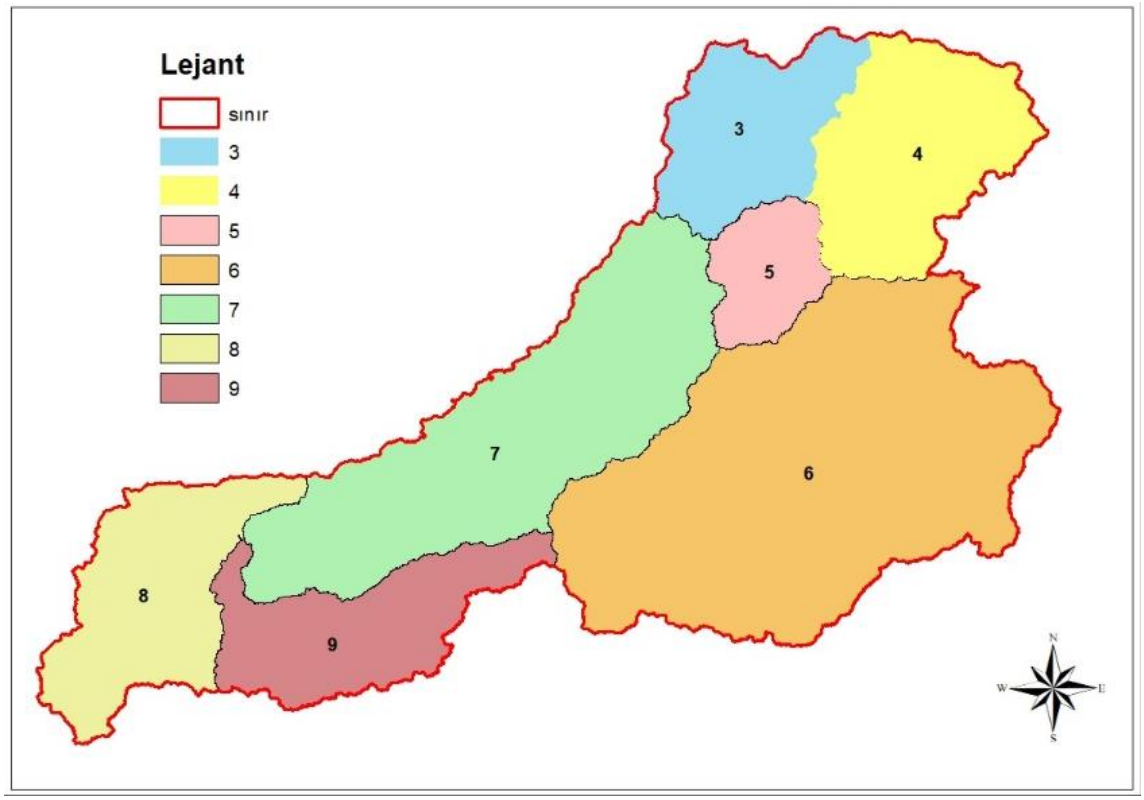
SYM verilerine dayalı olarak hidrolojik analizlerde nehir ağlarının çıkarılmasında kullanılan akım biriktirme eşik değeri (flow accumulation threshold value), bir hücrenin akarsu ağına dahil edilebilmesi için yukarı havzadan gelen minimum akış birikimi miktarını ifade etmektedir. Bu eşik değer, akarsu ağının yapısını doğrudan etkileyen kritik bir parametre olup, çok düşük seçilmesi durumunda gerçekte var olmayan çok sayıda küçük akarsu kolu

tanımlanmakta ve çok yüksek seçilmesi halinde ise gerçek akarsu kollarının bir kısmı göz ardı edilmektedir. Dolayısıyla eşik değerin doğru belirlenmesi, elde edilen akarsu ağının morfometrik analizlerin güvenilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Zhang, Loáiciga, Feng, He ve Du (2021) tarafından yapılan çalışmada da bu eşik değerin sabit bir sayı olarak değil, çalışma alanının çevresel ve topoğrafik özelliklerine bağlı olarak belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Çalışma kapsamında havzadaki akarsu kollarının oluşturulabilmesi için gereken akım biriktirme miktarı eşik değeri 5 olarak belirlenmiştir. Eşik değeri belirlenirken %100 doğruluk mümkün olmayıp, hidroloji konusunda tecrübe ve bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmada kullanılan sayısal haritaların çözünürlüğü 80x80 m olduğundan eşik değerinin 5 olması uygun görülmüştür. Daha sonra Strahler yöntemi kullanılarak havza drenaj kollarına ayrılmıştır (stream order). Strahler yöntemine göre bir akarsu aynı mertebede ise başlangıçta bu kola birinci derece kol denmektedir (Strahler,1957). Aynı mertebeye sahip birinci derece kollar birleştiğinde ikinci derece kollar oluşmaktadır (Strahler,1964). Bu şekilde, havza çıkışına kadar aynı mertebeye sahip kollar birleşerek mertebeler artmakta ve süreç devam etmektedir. Strahler yöntemine göre Çoruh Havzası'nda akarsu ağı mertebeleri 1'den 9'a kadar sınıflanmıştır. Çalışma kapsamında Çoruh Havzası geneli için elde edilmiş olan akarsu ağı Harita 4.1'de gösterilmiştir.



Harita 4.1. Çoruh Havzası Strahler yöntemine göre akarsu ağı numaraları

Çoruh Havzası geneli için 1'den 9'a kadar mertebelerden oluşan akarsu ağı Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü'nün Çoruh Havzası Kuraklık Yönetim Planı Taslak Raporu'na göre Harita 4.2'de gösterildiği gibi 7 alt havzaya bölünmüştür. Bu çalışma kapsamında da önceki çalışmalarla uyumlu olması açısından 7 alt havza elde edilmiştir.



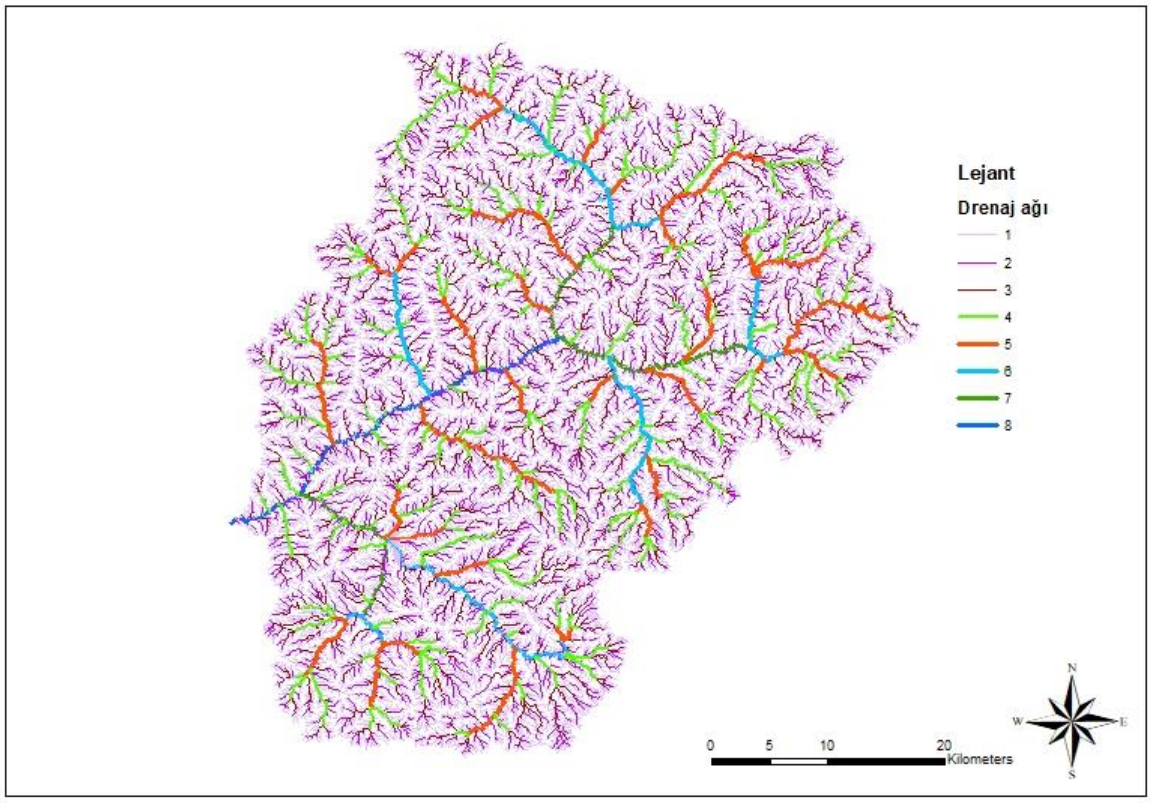
Harita 4.2. Çoruh Havzası alt havzaları

4.2.2. Drenaj ağları ile alt havzaların elde edilmesi

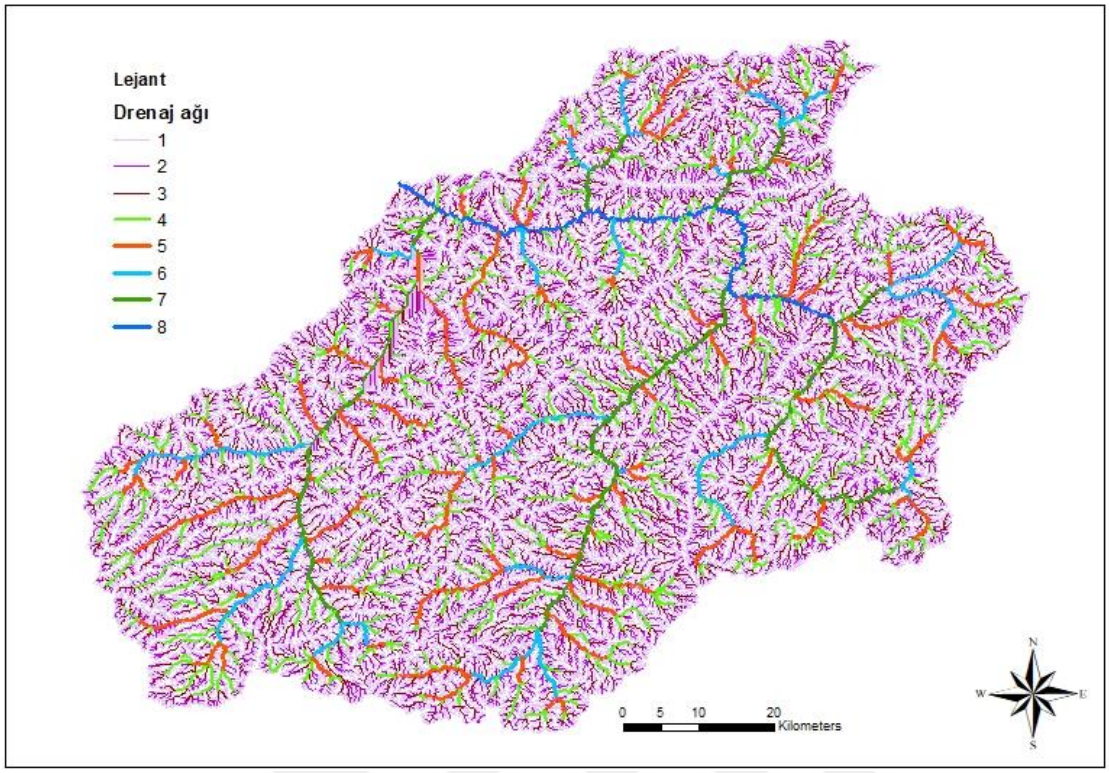
Çoruh Havzası çok büyük bir havza olduğundan çalışma kapsamında daha detaylı çalışma yapabilmek amacıyla üç alt havza seçilmiştir. Böylece her biri farklı bir şehri kapsayacak şekilde 4, 6 ve 9 numaralı üç havza seçilmiştir (Harita 4.2). 4 numaralı alt havza Artvin, 6 numaralı alt havza Erzurum ve 9 numaralı alt havzanın çoğunluğu ise Bayburt ilini kapsamaktadır. Seçilen üç alt havzanın akarsu ağları göz önüne alındığında alt havza 4 ve 6 için en büyük mertebe 8, havza 9 için en büyük mertebe 7 olarak belirlenmiştir. Harita 4.3-Harita 4.5'te Çoruh Havzası'na ait bu üç alt havzanın drenaj ağları verilmiştir.

Çalışmada seçilen alt havzaların erozyona duyarlılıklarını daha detaylı inceleyebilmek amacıyla bu havzalar da daha küçük alt havzalara ayrılmıştır. Çalışmanın bu aşamasından

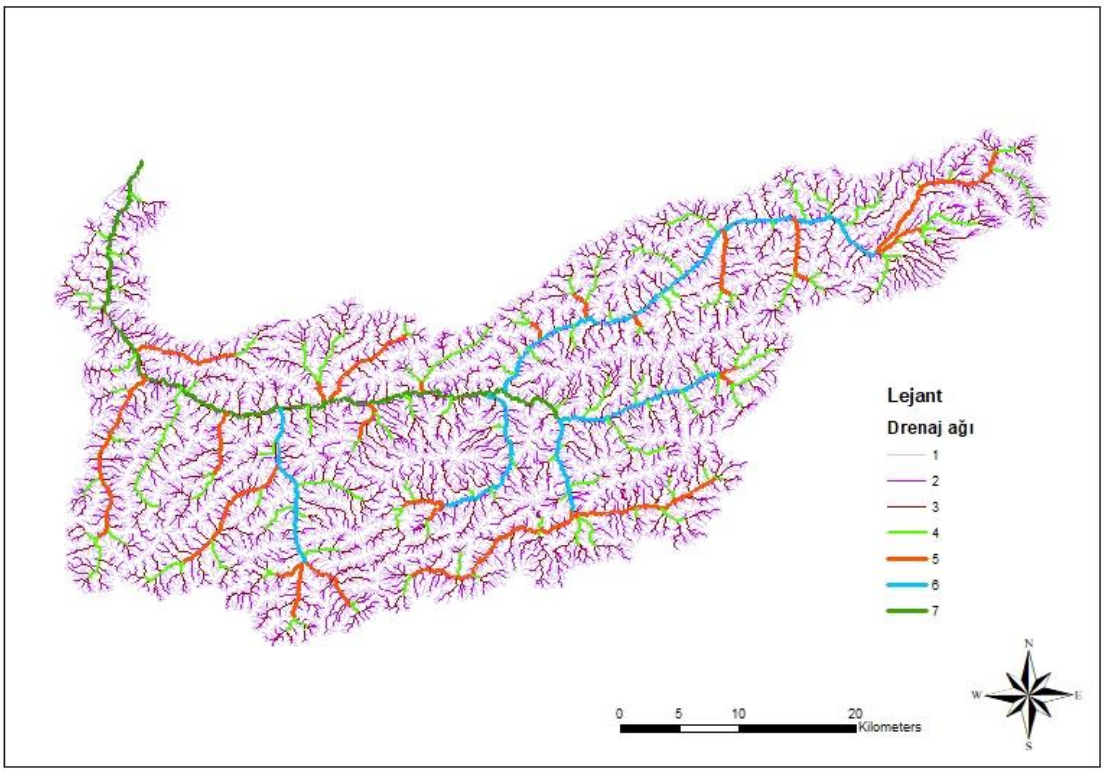
sonra karışıklığı önlemek amacıyla üç alt havza Havza 4, Havza 6 ve Havza 9 olarak adlandırılmış; bu havzalar içerisindeki daha küçük havzalar ise alt havza olarak tanımlanmıştır. Alt havzaların belirlenmesi sürecinde, her bir havzanın drenaj ağı yapısı göz önünde bulundurularak akarsu mertebeleri (stream order) temel alınmıştır. Çalışma kapsamındaki üç havzayı drenaj ağı mertebelerine göre daha küçük alt havzalara bölebilmek için Havza 4 ve 6'da ana kanal mertebeleri sırasıyla 7 ve 8, Havza 9 için ana kanal mertebesi 7 olarak belirlenmiştir. Bu üç havzanın drenaj ağında akarsu mertebesi 5 ve 5'ten büyük olan kollar sınır belirlenerek, bu akarsuların etki alanlarını belirlemek üzere havza analizi (watershed) yapılmıştır. Bu analiz sonucunda alt havzalar oluşturulmuştur. Elde edilen alt havza verileri vektör formatına, ardından poligona dönüştürülerek havza sınırları oluşturulmuştur. Harita 4.6-Harita 4.8'de görüldüğü üzere 4 numaralı havza için 19 alt havza, 6 numaralı havza için 62 alt havza ve 9 numaralı havza için 12 alt havza olmak üzere toplam 93 adet alt havza elde edilmiştir.



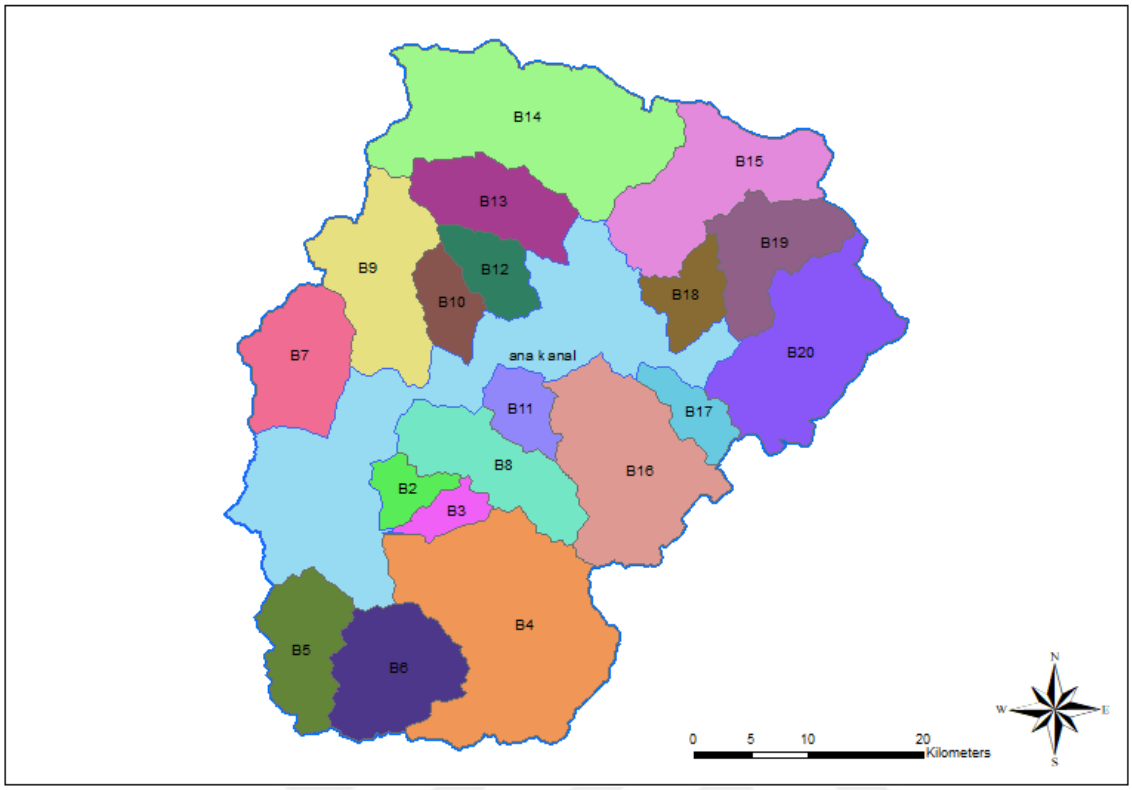
Harita 4.3. Havza 4'e ait drenaj ağı



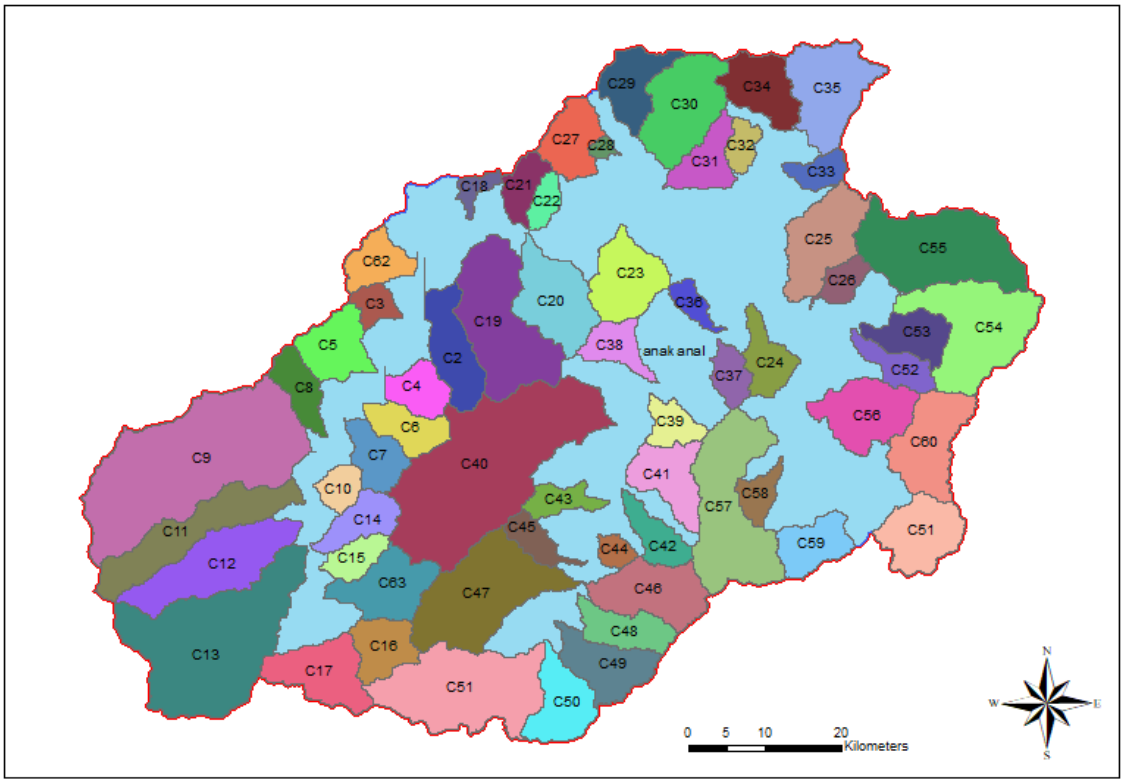
Harita 4.4. Havza 6'ya ait drenaj ağı



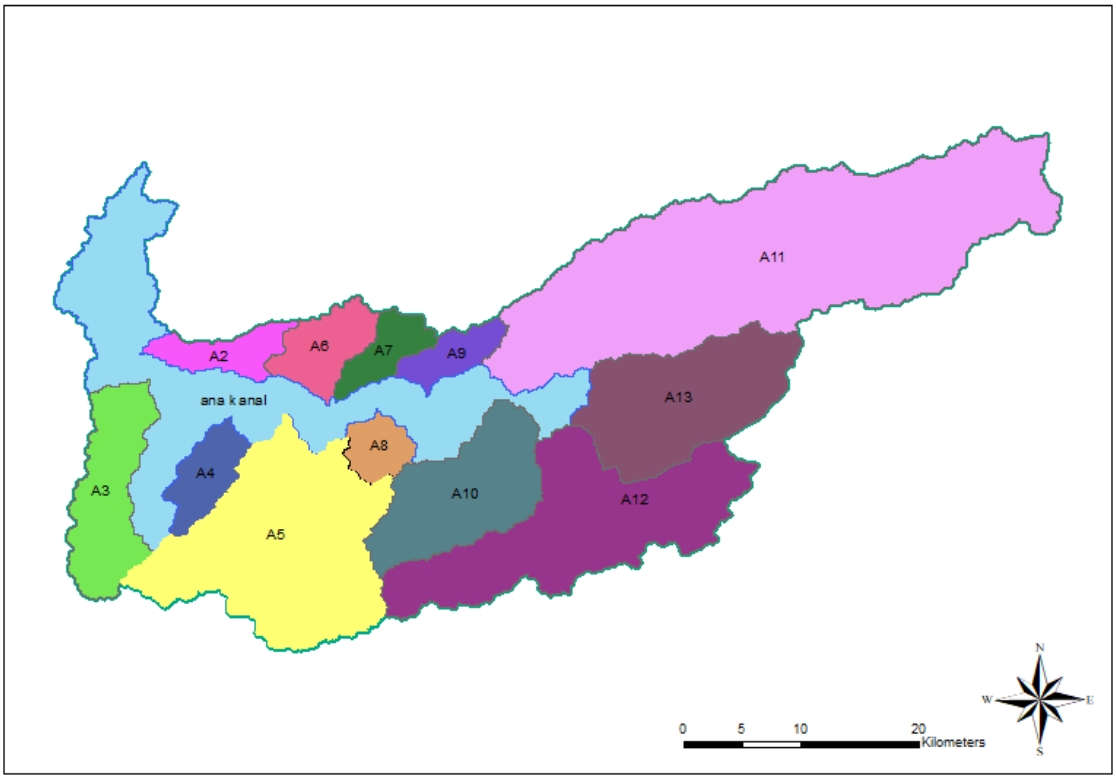
Harita 4.5. Havza 9'a ait drenaj ağı



Harita 4.6. Havza 4'e ait alt havzalar



Harita 4.7. Havza 6'ya ait alt havzalar



Harita 4.8. Havza 9'a ait alt havzalar

4.3. Çalışma Alanı Tematik Haritaları

4.3.1. Yükselti özellikleri

Çoruh Havzası'nın yaklaşık ortalama yüksekliği 1897 m olarak belirlenmiştir. Yükselti haritasına bakıldığında, havzanın en düşük noktası 50 m ve en yüksek noktası 3883 m'dir (Çizelge 4.1). En yüksek rakım Rize ve Artvin sınırlarında yer alan Kaçkar Dağları'nda bulunmaktadır.

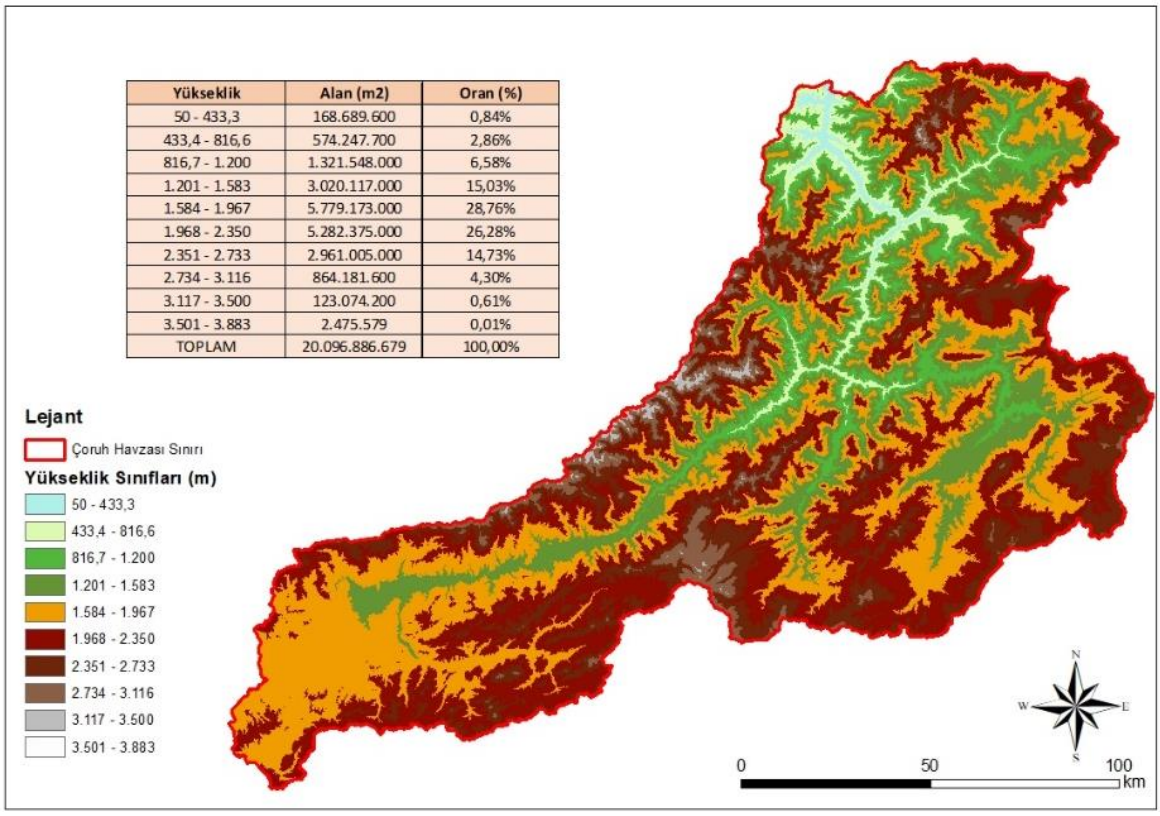
Çizelge 4.1. Çoruh Havzası'nın bazı temel fiziksel özellikleri

Havza Çevresi (km)	1 271,07
Havza Alanı (km^2)	20 097,34
Havza Maksimum Yükseklik (m)	3 883
Havza Minimum Yükseklik (m)	50
Havza Ortalama Yükseklik (m)	1 897,49
Toplam akarsu uzunluğu (km)	78 014,35
Ortalama eğim (%)	35

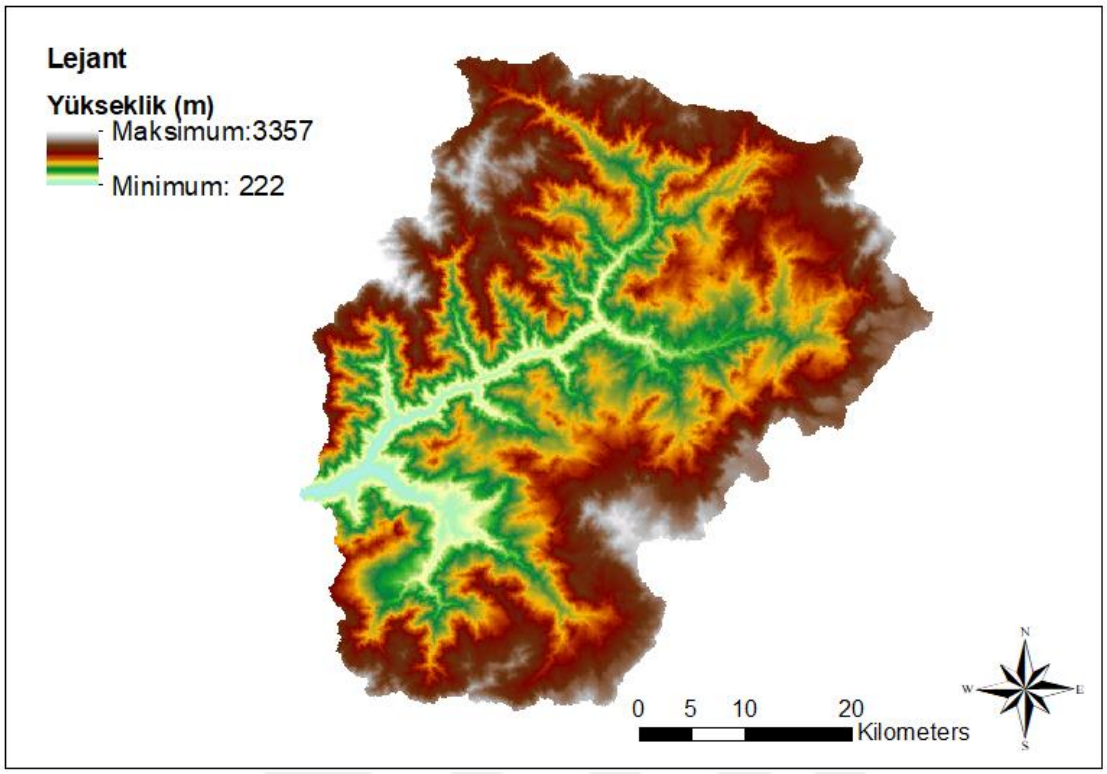
Harita 4.9'da verilen yükseklik sınıflarının gösterildiği harita incelendiğinde Çoruh Havzası'nın %70'i 1200 m ile 2733 m kotları arasında yer almaktadır. Geriye kalan %10'luk

kısım 1200 m altında yer alırken, yaklaşık %20'lik kısım 2733 m üstünde yer almaktadır. Bu geniş aralıklı yükseklik sınıfı, havzanın eğimli yapısı ile ilgili bilgi vermektedir.

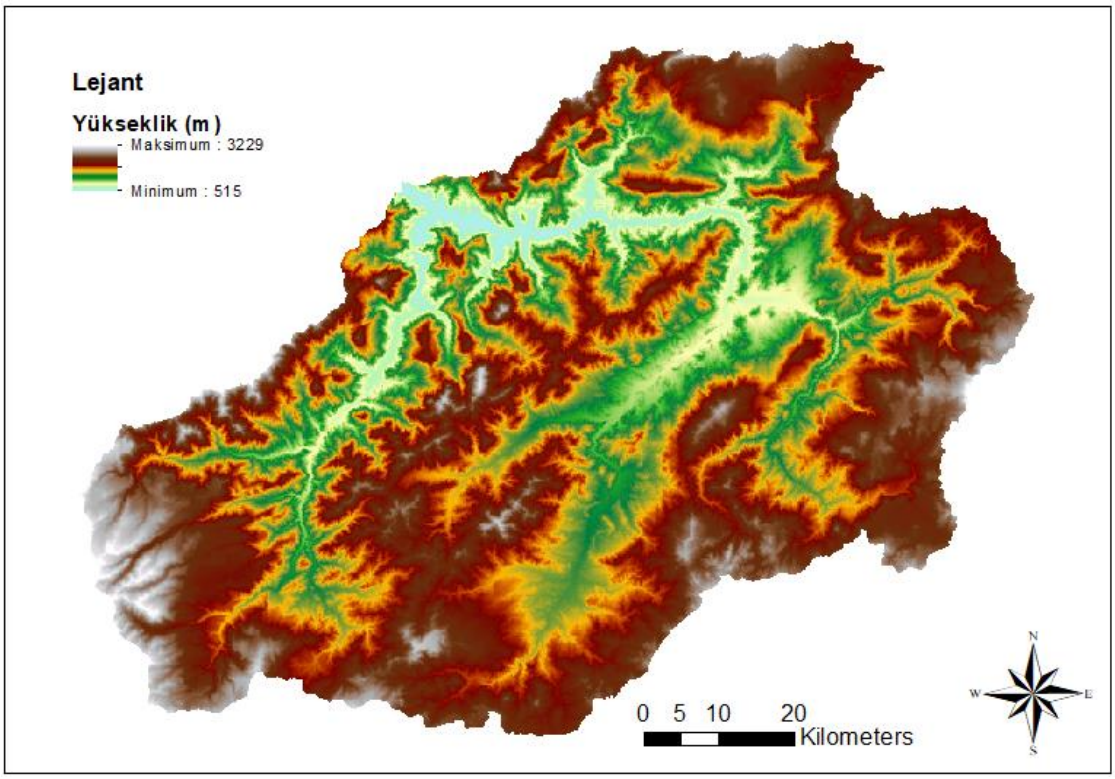
Harita 4.10, Harita 4.11 ve Harita 4.12'de sırasıyla Havza 4, 6 ve 9'a ait SYM verilmektedir. Havza 4, 6 ve 9'a ait maksimum ve minimum yükseklikliere incelendiğinde sırası ile 222 m ile 3357 m, 515 m ile 3229 m, 1482 m ile 3178 m arasında değiştiği görülmektedir. Havza 9'un genel olarak yüksek rakıma sahip olduğu, diğer iki havzaya göre eğiminin derecesinin daha az olduğu elde edilmiştir.



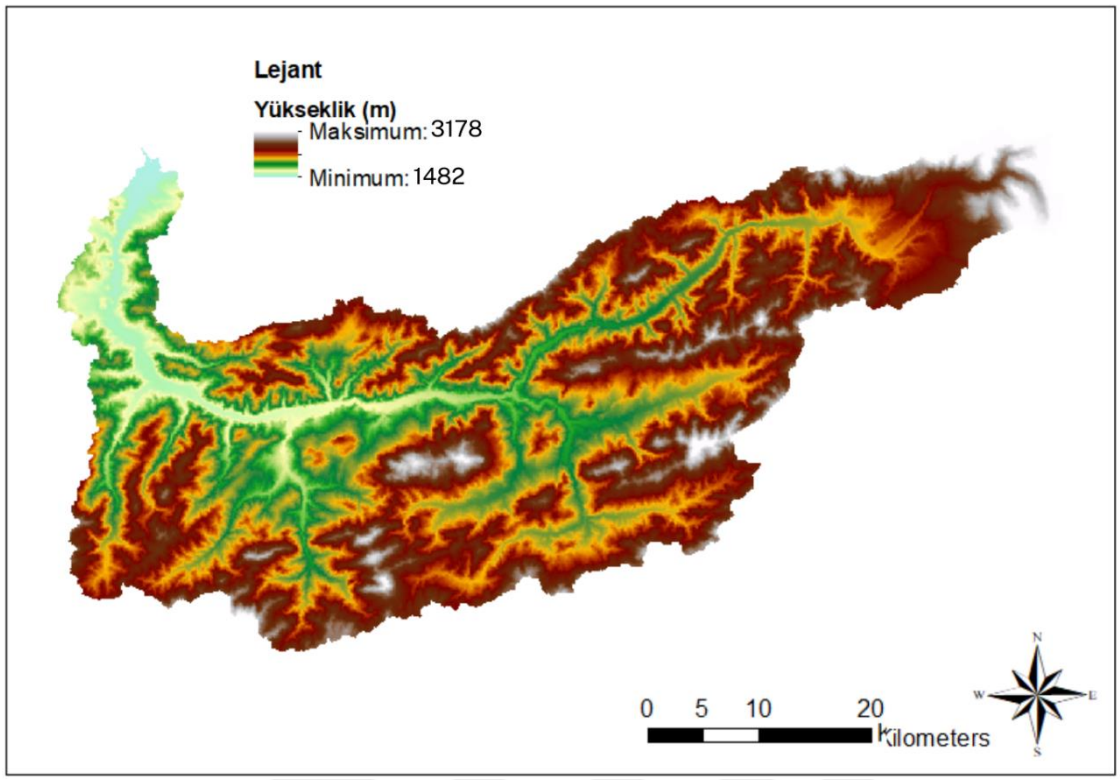
Harita 4.9. Çoruh Havzası sayısal yükseklik modeli



Harita 4.10. Havza 4 sayısal yükseklik modeli



Harita 4.11. Havza 6 sayısal yükseklik modeli

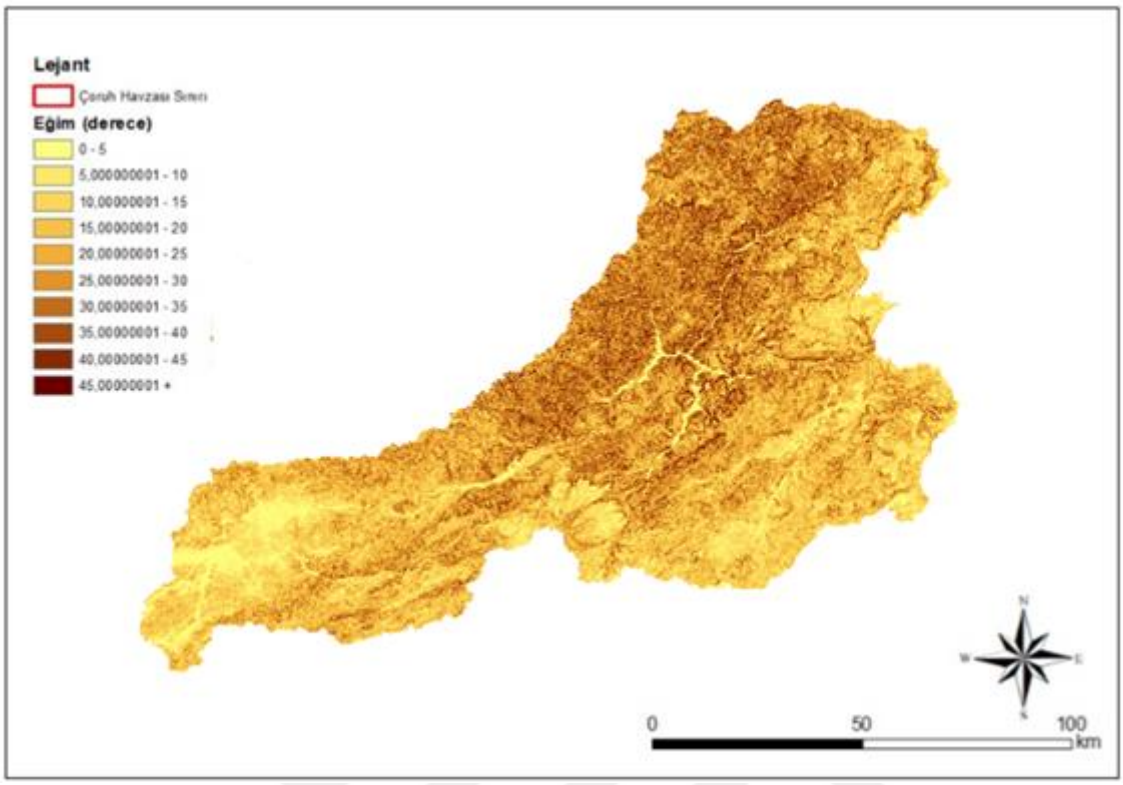


Harita 4.12. Havza 9 sayısal yükseklik modeli

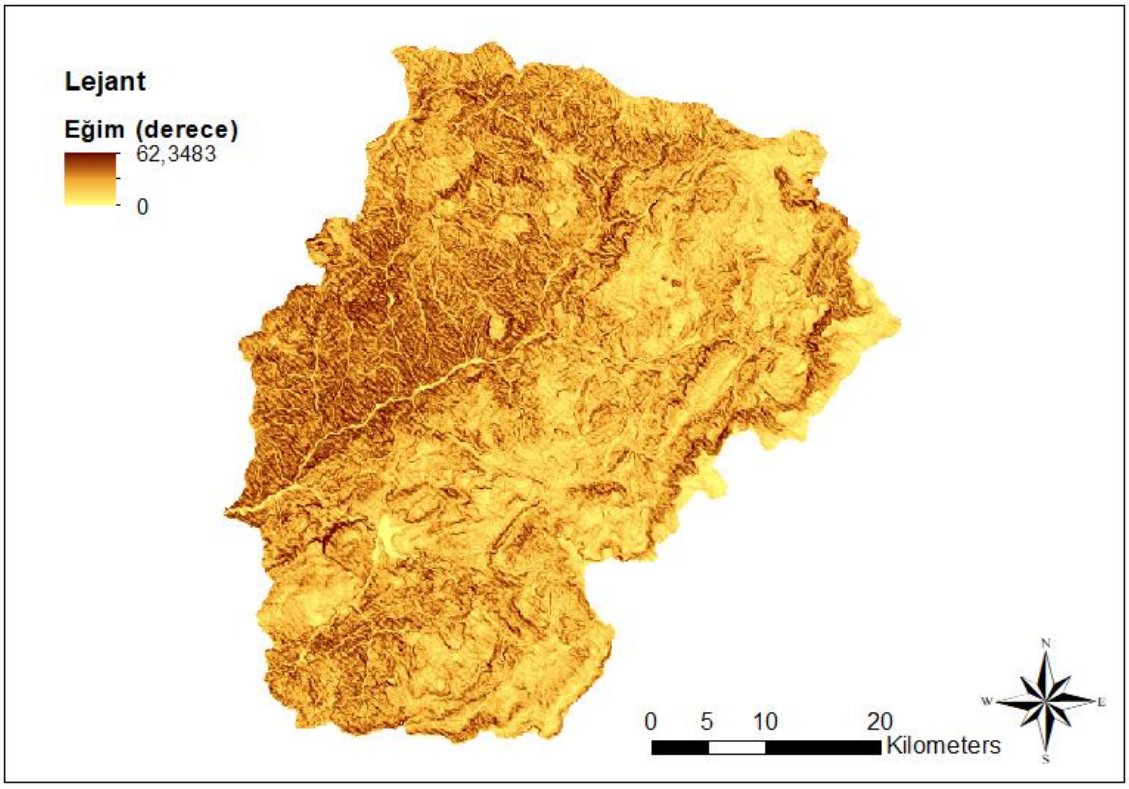
4.3.2. Eğim özellikleri

Çoruh Havzası geneli için eğim sınıfları Harita 4.10'de gösterilmiştir. Eğim, yüzeysel akışın oluşumunda etkili olduğu gibi, dere akımlarının hidrograf şeklinin belirlenmesinde ve pik akımların oluşumunda da önemli rol oynamaktadır. Eğim değerlerinin yüksek olması, yüzeysel akışı hızlandırarak erozyonu arttıran önemli bir parametredir. Eğim oranları incelendiğinde Artvin iline kıyasla Bayburt ilinde eğimin azaldığı görülmektedir. Ortalama eğim yaklaşık %35 veya ortalama yaklaşık 18,65° olarak tespit edilmiştir.

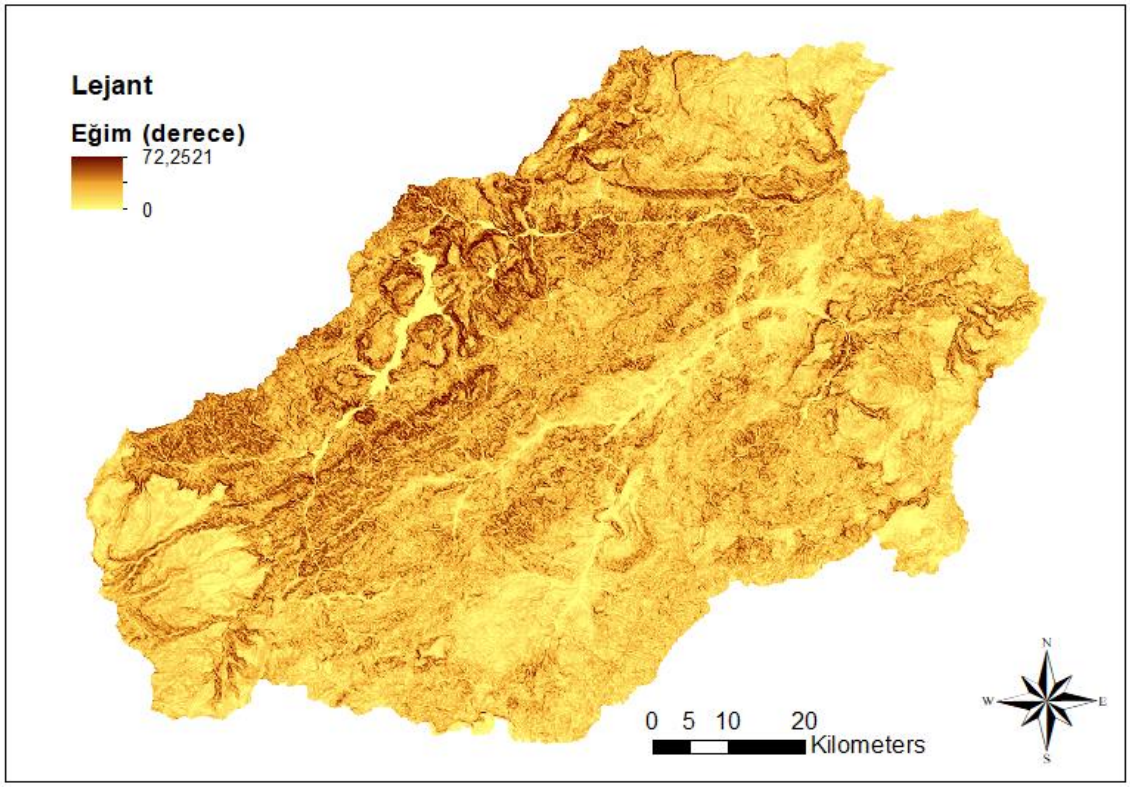
Harita 4.14, Harita 4.15 ve Harita 4.16'da sırasıyla Havza 4, 6 ve 9'a ait eğim haritaları verilmektedir. Derece olarak en yüksek eğim değerleri Havza 4, 6 ve 9 için sırası ile 62,35°, 72,25° ve 49,63° olarak elde edilmiştir. Havza 4, 6 ve 9'un yüzdesel olarak ortalama eğimlere bakıldığında sırası ile %40, %31 ve %30 olduğu görülmektedir. Eğimin doğrudan erozyona etki etmesinden kaynaklı elde edilen ortalama eğimler doğrultusunda erozyon duyarlılığının en fazla Havza 4'de olması beklenmektedir.



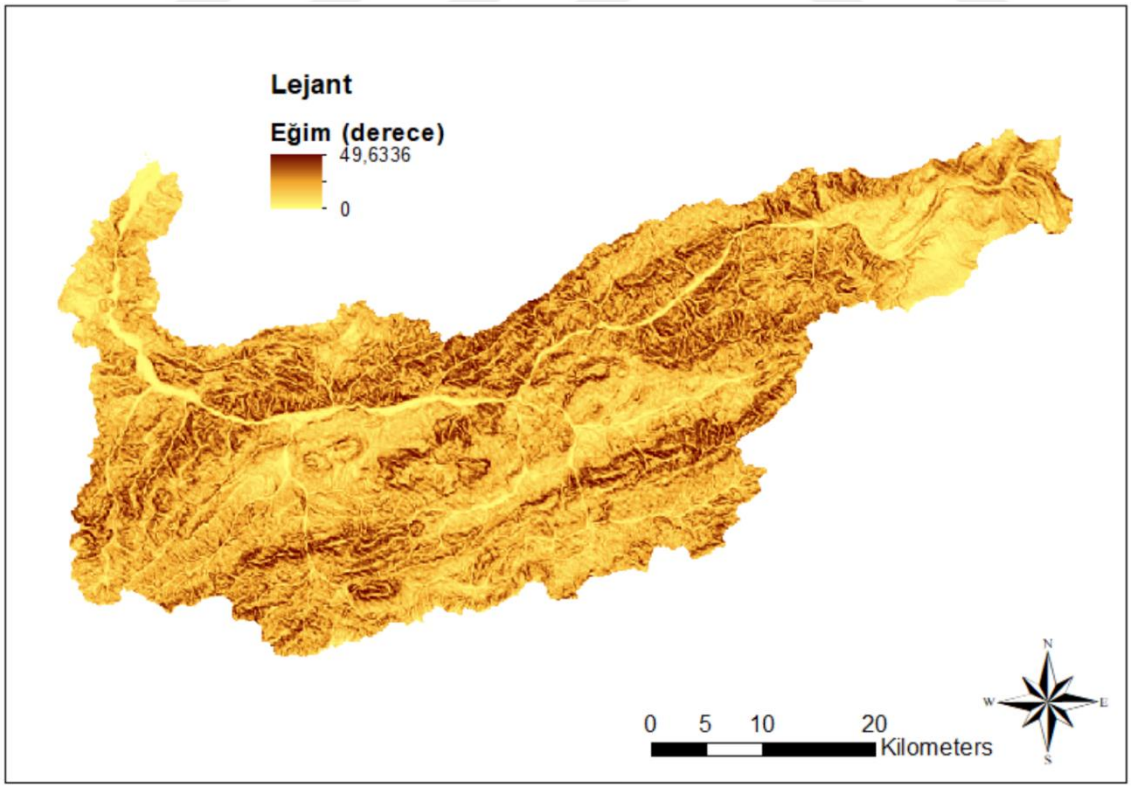
Harita 4.13. Çoruh Havzası eğim haritası



Harita 4.14. Havza 4 eğim haritası



Harita 4.15. Havza 6 eğim haritası



Harita 4.16. Havza 9 eğim haritası

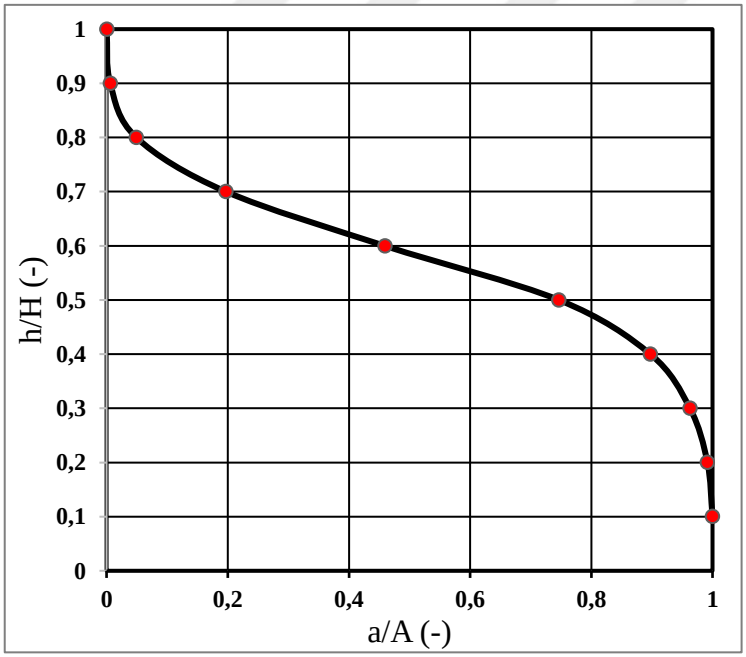
4.3.3. Hipsometrik eğri ve hipsometrik integral

Hipsometrik eğri bir havzaya ait yükselti dağılımına göre havzanın jeomorfolojik evrimi hakkında bilgi vermektedir. Hipsometrik eğrinin x ekseninde rölatif alan (a/A), y ekseninde rölatif yükseklik (h/H) değerleri yer almaktadır. Hipsometrik eğriyi oluşturmak için öncelikle her bir sınıf için, o sınıf ve o sınıfın üzerinde bulunan toplam alan bulunur. Bu alan "a" sembolü ile gösterilir. Her sınıfa ait a değeri, toplam havza alanına (A) bölünerek rölatif alan (a/A) değerleri bulunur. Y ekseni her sınıfa ait maksimum ve minimum yükseklik farklarını gösterir. Bulunan her sınıfa ait yükseklik farkı düşükten başlayarak yükseğe doğru toplanır. Bu değerler "h" sembolü ile gösterilir. En yüksek sınıf için bulunan h değeri ise "H" sembolü ile gösterilir. Rölatif yükseklik (h/H) değerleri de hesaplanarak hipsometrik eğri çizilir. Çizilen hipsometrik eğrinin altında kalan alan hipsometrik integral değerini vermektedir (Keller ve Pinter, 1996). Herhangi bir sınıftaki $H_i \geq 0.60$ olması halinde eğri dışbükey yukarı doğru olup, arazinin gençlik döneminde ve erozyona oldukça yatkın olduğunu göstermektedir. Eğer $0{,}60 > H_i \geq 0{,}30$ ise eğri S şeklinde olup havzanın olgun dönemde olduğunu ifade etmektedir. Eğer $H_i < 0{,}30$ ise eğri yukarı doğru içbükey olup havzanın yaşlı olduğu anlamına gelmektedir (Dursun ve Babalık, 2023). William Morris Davis'in jeomorfolojik döngü teorisine göre arazi üç dönemde şekillenmektedir. Gençlik döneminde eğim yüksek, engebeli bir yapı, derin vadiler ve hızlı yüzeysel akış mevcuttur. Erozyonun en fazla olduğu dönemdir. Olgun dönemde aşındırma yavaşlar ve vadiler genişlemeye başlar. Son olarak yaşlılık döneminde ise arazi eğimi en az durumda olduğu için düzlükler artmış, akarsular yavaşlamıştır. Böylece erozyon azalmıştır (Arefin, Seker, Hore ve Meshram, 2024).

Çoruh Havzası'nın hipsometrik eğrisi incelendiğinde, Şekil 4.3.'te görüldüğü üzere eğri "S" şeklinde olup ve hipsometrik integral değeri 0,47 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.2). Bu değer avzanın olgunluk aşamasında olduğunu, hem yüksek hem alçak bölgelerin yer aldığını ve erozyon kontrol çalışmaları yapılabileceğini göstermektedir (Dursun ve Babalık, 2023).

Çizelge 4.2. Çoruh Havzası'na ait hipsometrik eğri verileri

Alan (km^2)	Maksimum Yükseklik (m)	Minimum Yükseklik (m)	Ortalama Yükseklik (m)	Rölatif Alan (a/A)	Rölatif Yükseklik (h/H)
168,99	437	55	307,48	1,00	0,10
578,37	819	438	672,14	0,99	0,20
1 315,19	1 201	820	1 038,41	0,96	0,30
3 028,09	1 584	1 202	1 419,94	0,90	0,40
5 766,26	1 966	1 585	1 778,65	0,75	0,50
5 266,81	2 348	1 967	2 150,51	0,46	0,60
2 966,75	2 731	2 349	2 506,37	0,20	0,70
866,04	3 113	2 732	2 883,41	0,05	0,80
120,16	3 495	3 114	3 217,71	0,01	0,90
2,29	3 878	3 496	3 578,24	0,00	1,00



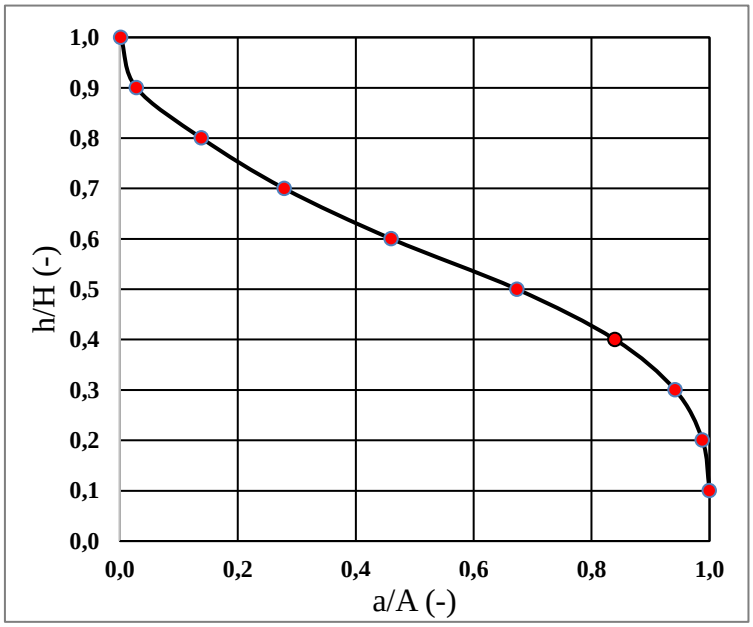
Şekil 4.3. Çoruh Havzası'na ait hipsometrik eğrisi

Havzanın aşındırma süreçlerinin daha iyi anlaşılması amacıyla çalışma kapsamında detaylı incelenen Havza 4, 6 ve 9 için de ayrı ayrı hipsometrik eğri ve hipsometrik integral değerleri hesaplanmıştır. Havza 4, 6 ve 9 için sırasıyla hipsometrik integral değeri 0,48, 0,5 ve 0,47 olarak hesaplanmıştır. Havza 4, 6 ve 9'a ait hipsometrik eğri verileri ile hipsometrik eğriler

sırasıyla Çizelge 4.3 ile Şekil 4.4, Çizelge 4.4 ile Şekil 4.5 ve Çizelge 4.5 ile Şekil 4.6'da verilmiştir. Jeomorfolojik durumları incelendiğinde üç havzanın da olgun olduğu, Havza 6'nın H_i değerinin 0,6 değerine en yakın havza olmasından kaynaklı nispeten diğer havzalara göre erozyon duyarlılığının daha fazla olduğu ve gençlik dönemine en yakın havza olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 4.3. Havza 4'e ait hipsometrik eğri verileri

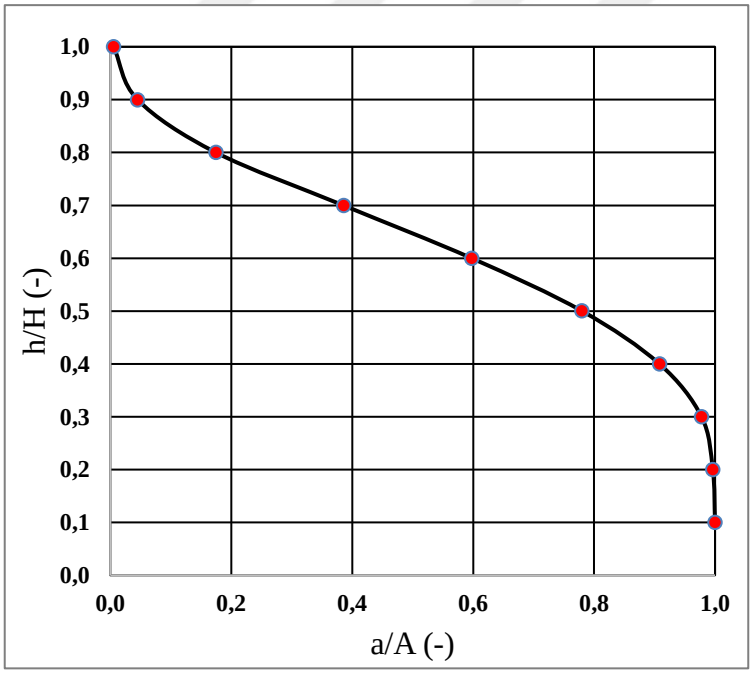
Alan (km^2)	Maksimum Yükseklik (m)	Minimum Yükseklik (m)	Ortalama Yükseklik (m)	Rölatif Alan (a/A)	Rölatif Yükseklik (h/H)
27,23	535	222	426,77	1,00	0,10
106,37	849	536	716,29	0,99	0,20
232,87	1 162	850	1 022,36	0,94	0,30
379,30	1 476	1 163	1 330,48	0,84	0,40
487,49	1 789	1 477	1 632,66	0,67	0,50
414,52	2 103	1 790	1 940,33	0,46	0,60
321,12	2 416	2 104	2 253,04	0,28	0,70
251,79	2 730	2 417	2 549,28	0,14	0,80
60,04	3 043	2 731	2 853,45	0,03	0,90
4,02	3 357	3 044	3 120,31	0,00	1,00



Şekil 4.4. Havza 4'e ait hipsometrik eğri

Çizelge 4.4. Havza 6'ya ait hipsometrik eğri verileri

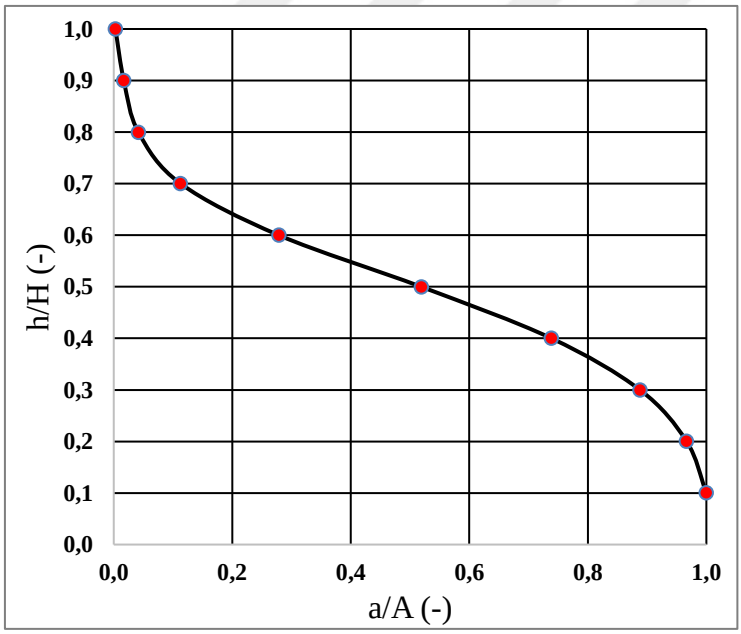
Alan (km^2)	Maksimum Yükseklik (m)	Minimum Yükseklik (m)	Ortalama Yükseklik (m)	Rölatif Alan (a/A)	Rölatif Yükseklik (h/H)
25,76	786	515	697,69	1,00	0,10
130,56	1 057	787	959,51	1,00	0,20
485,16	1 329	1 058	1 217,35	0,98	0,30
894,85	1 600	1 330	1 477,80	0,91	0,40
1 271,85	1 872	1 601	1 739,37	0,78	0,50
1 477,76	2 143	1 873	2 011,28	0,60	0,60
1 473,87	2 414	2 144	2 273,35	0,39	0,70
903,25	2 686	2 415	2 529,06	0,17	0,80
277,50	2 957	2 687	2 791,20	0,05	0,90
38,00	3 229	2 958	3 024,88	0,01	1,00



Şekil 4.5. Havza 6'ya ait hipsometrik eğri

Çizelge 4.5. Havza 9'a ait hipsometrik eğri verileri

Alan (km^2)	Maksimum Yükseklik (m)	Minimum Yükseklik (m)	Ortalama Yükseklik (m)	Rölatif Alan (a/A)	Rölatif Yükseklik (h/H)
61,65	1 651	1 482	1 584,72	1,00	0,10
144,44	1 821	1 652	1 743,40	0,97	0,20
275,54	1 990	1 822	1 913,41	0,89	0,30
403,01	2 160	1 991	2 080,33	0,74	0,40
443,00	2 329	2 161	2 243,41	0,52	0,50
305,70	2 499	2 330	2 404,12	0,28	0,60
130,86	2 669	2 500	2 573,04	0,11	0,70
45,50	2 838	2 670	2 741,45	0,04	0,80
26,14	3 008	2 839	2 915,00	0,02	0,90
5,13	3 178	3 009	3 052,23	0,00	1,00



Şekil 4.6. Havza 9'a ait hipsometrik eğri

4.4. Erozyon Duyarlılığı İçin Kullanılan Morfometrik Parametreler

Havzaya ait morfometrik parametrelerin analizi, arazi etütlerine başlamadan önce bölgenin hidrolojik, topoğrafik ve jeolojik durumu hakkında bilgi edinilmesinde önemli katkı sağlamaktadır (Görür ve Karadeniz, 2018). Çoruh Havzası'na ait SYM kullanılarak

erozyonu etkileyen morfometrik parametreler literatürdeki çalışmalar ve mevcut veriler değerlendirilerek belirlenmiştir. Literatürde erozyon duyarlılığı analizlerinde genellikle 10 ila 25 arasında morfometrik parametreye yer verildiği, seçimin çalışma alanının özellikleri ve analizde kullanılacak yöntemlerin doğasına göre değiştiği görülmektedir. Çalışma kapsamında çizgisel, rölyef, alansal ve hidrolojik-jeolojik özellikleri ifade eden 20 parametrenin kullanılmasına karar verilmiştir. (Arabameri, Tiefenbacher, Blaschke, Pradhan ve Tien Bui, 2020). Bu çalışmada kullanılan parametreler, hem havzanın karmaşık topoğrafik yapısını temsil edebilmesi hem de çok kriterli karar verme yöntemleriyle anlamlı analizler yapılabilmesi için dengeli bir yaklaşımla belirlenmiştir. Çizelge 4.6'da erozyona duyarlı alanların belirlenmesinde kullanılmasına karar verilen parametreler verilmiştir.

Morfometrik parametrelerin hesaplanabilmesi için öncelikli olarak çalışma kapsamındaki havzaların SYM'den havza alanı (A), çevresi (P), havza uzunluğu (L_b), maksimum ve minimum yükseklikleri gibi temel parametreleri belirlenmiştir. Bu temel parametrelerden yararlanılarak çatallanma oranı, akarsu uzunluk oranı, tekstür oranı, ortalama akarsu uzunluğu, akarsu sıklığı, dairesellik oranı, form faktörü, gravelius indeksi, engebelilik değeri, rölyef oranı, hipsometrik integral, ortalama topografik nemlilik İndeksi, akarsu gücü indeksi ve arazi engebelilik indeksi gibi parametreler hesaplanmıştır. Çizelge 4.6'da ilgili parametreler ve formülleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Parametrelerin sembolleri ve formülleri

	Sembol	Parametreler	Formül	Birim	Rerefans
ÇİZGİSEL MORFOMETRİ	R_b	Çatallanma Oranı	$R_b=N_u/N_{u+1}$	-	(Schumm, 1956)
	R_{bwm}	Ağırlıklı Ortalama Çatallanma Oranı	$R_{bwm} = \Sigma(R_b*N_u)/ \Sigma N_u$	-	(Strahler, 1953)
	R_l	Akarsu Uzunluk Oranı	$R_l = L_u / L_{u+1}$	-	(Patton, 1988)
	R_{lwm}	Ağırlıklı Akarsu Uzunluk Oranı	$R_{lwm} = \Sigma(R_l*L_u)/ \Sigma L_u$	-	(Horton, 1945)
	T	Tekstür Oranı	$T = N_{u1} / P$	km^{-1}	(Horton, 1945)
	L_o	Yüzeysel Akış Uzunluğu	$L_o=1/2D$	km	(Horton, 1945)
	L_{um}	Ortalama Akarsu Uzunluğu	$L_{um}=L_u/N_u$	km	(Strahler, 1964)
ALANSAL MORFOMETRİ	D_d	Drenaj Yoğunluğu	$D_d = \Sigma L /A$	km^{-1}	(Horton 1932,1945)
	F_s	Akarsu Sıklığı	$F_s = N_u / A$	km^{-2}	(Horton 1932,1945)
	I_f	İnfiltrasyon Değeri	$I_f=F_s*D_d$	-	(Faniran,1968)
	R_c	Dairesellik Oranı	$R_c=12,57*(A/P^2)$	-	(Strahler, 1964)
	R_e	Uzunluk Oranı	$R_e=2/L_b*\sqrt{(A/\pi)}$	-	(Strahler, 1964)
	K_g	Gravelius İndeks	$K_g=P/2*\sqrt{(\pi*A)}$	-	(Gravelius,1914)
	F	Havza Şekli-Form Faktörü	$F = A / L_b^2$	-	(Horton, 1932)
RÖLYEF MORFOMETRİ	B_h	Havza Rölyefi	: $H_{max} - H_{min}$	m	(Schumm, 1954)
	R_h	Rölyef Oranı	$R_h=B_h/L_b$	-	(Schumm, 1954)
	R_n	Engebelilik Değeri	$R_n = B_h * D_d$	-	(Schumm, 1954)
	S	Ortalama Eğim	S=H/L	-	-
	H_i	Hipsometrik İntegral	$H_i=(H_{ort} -H_{min})/(H_{max}-H_{min})$	-	(Keller ve Pinter, 1996)
	H_c	Hipsometrik Eğri	H_c = a/A veya h/H	-	(Strahler, 1952)
	MRn	Melton Engebelilik Sayısı	$MRn=H/\sqrt{A}$	-	(Melton, 1965)
JEOLOJİK-HİDROLOJİK PARAMETRE	TWI	Ortalama Topoğrafik Nemlilik İndeksi	$TWI=\ln(A_s/\tan\beta)$	-	(Beven ve Kirkby, 1979)
	SPI	Akarsu Gücü İndeksi	$SPI=A_s*\tan\beta$	-	(Moore, Grayson ve Ladson, 1991)
	TRI	Arazi Engebelilik İndeksi	$TRI=\sqrt{\Sigma(x_i-E)^2}$	-	(Riley, DeGloria ve Elliot, 1999)
	TPI	Topoğrafik Pozisyon İndeksi	$TPI=E-(\Sigma x_i/8)$	-	(Jenness, 2006)

4.4.1. Çizgisel parametreler

Çizgisel parametreler, bir havzadaki su yolları ve akış sistemlerindeki morfometrik özellikleri bir boyutlu ifade eden değerlerdir (Çıtak ve Kılıç, 2023). Bu parametreler yardımıyla havzadaki akarsu kollarının uzunluğu ve farklı mertebedeki akarsu kolları uzunluklarının birbirlerine oranları, havzanın şekli gibi bilgiler elde edilmektedir. Çalışma kapsamında hesaplanmış olan çizgisel parametreler çatallanma oranı (R_b), akarsu uzunluk oranı (R_l), tekstür oranı (T), yüzeysel akış uzunluğu (L_o) ve ortalama akarsu uzunluğu (L_{um})'dır.

Çatallanma oranı (R_b)

Çizgisel parametrelerden çatallanma oranı, havzadaki bir akarsu mertebesinin toplam sayısının, bir üst akarsu mertebesi toplam sayısına oranı olarak ifade edilir (Güney, 2018). Yüksek çatallanma oranı değerleri yüksek yüzey akımı, kısa toplanma süresi ve olgun bir topografyayı göstermektedir. Ayrıca dar vadilerin yer aldığı, eğimi fazla kaya katmanlarının bulunduğu bölgeleri de ifade eder (Gajbhiye, Mishra ve Pandey, 2014). Akarsu ağını en iyi karakterize eden çatallanma oranı parametresi boyutsuz olup değeri genellikle 2 ile 5 arasında değişmektedir. R_b<3,0 olması drenaj havzasında tek tip malzeme (havzanın jeolojik yapısının büyük oranda homojen olması yani benzer özellikte kayaçlardan oluşması) bulunduğunu ve havzanın sistematik bir dallanmaya sahip olduğunu gösterir (Elbaşı ve Özdemir, 2018). Çatallanma oranının yüksek olması toprak erozyon duyarlılığının da yüksek olduğu anlamında gelmektedir (Gajbhiye, Mishra ve Pandey, 2014).

Ağırlıklandırılmış ortalama çatallanma oranı (R_{bwm})

Ağırlıklandırılmış ortalama çatallanma oranı, ortalama çatallanma oranı hesabına göre farklı mertebelerdeki akarsu sayıları oranlarını daha doğru temsil etmeyi amaçlamaktadır. Her düzeydeki çatallanma oranı, o düzeyi kapsayan akarsu sayıları ile çarpılıp ağırlıklandırılarak elde edilmektedir (K. Pareta ve U. Pareta, 2011).

Akarsu uzunluk oranı (R_l)

Akarsu uzunluk oranı, bir akarsu mertebesinin toplam uzunluğunun bir sonraki akarsu mertebesi uzunluğuna oranı şeklinde ifade edilmektedir (Dursun ve Babalık, 2023). Dolayısıyla R_l değeri havzanın eğim ve topoğrafyası ile değişmektedir. Akarsu uzunluk oranının göreceli olarak düşük olması akarsuyun kolayca drene olabileceğini ifade etmektedir. Bu da havzanın uzunlamasına bir havza olduğunu göstermektedir (Özdemir, 2011). Böylece düşük R_l değeri akışa geçen yüzey sularının düşük miktarda olduğunu ve taşkın potansiyelinin düşük olduğunu ifade etmektedir. Dolayısıyla düşük R_l değerinde erozyon duyarlılığı da düşük olmaktadır.

Ağırlıklandırılmış ortalama akarsu uzunluk oranı (R_{lwm})

Ağırlıklandırılmış ortalama akarsu uzunluk oranı, ortalama akarsu uzunluk oranına göre daha gerçeğe yakın sonuç vermektedir. Her düzeydeki akarsu uzunluk oranı, o düzeyi kapsayan akarsu uzunlukları ile çarpılıp ağırlıklandırılarak elde edilmektedir (K. Pareta ve U. Pareta, 2011).

Tekstür oranı (T)

Tekstür oranı, birinci mertebedeki akarsu kollarının toplam sayısının havza çevresine bölünmesiyle bulunmaktadır (Özdemir, 2011). Tekstür oranı, çok kaba (<2), kaba (2-4), orta (4-6), ince (6-8) ve çok iyi (>8) olmak üzere beş gruba ayrılmaktadır (Smith, 1950). Tekstür oranı iklim, yağış, bitki örtüsü ve toprak grubu gibi havzanın doğal özelliklerine bağlıdır. Tekstür oranı, dairesel havzalarda daha yüksek değerlere ulaşırken, uzunlamasına havzalarda daha düşük değerler almaktadır (Çıtak ve Kılıç, 2023). Ayrıca tekstür oranının düşük olması drenaj yoğunluğunun düşük, yüzey akışının az ve sızmanın yüksek olduğunu ifade etmektedir. Dolayısıyla düşük tekstür oranı düşük erozyon duyarlılığı anlamına gelmektedir.

Yüzeysel akış uzunluğu (L_o)

Yüzeysel akış uzunluğu havzaya düşen yağışın akarsu kanallarına karışmadan önce zemin üzerinde katettiği yolun uzunluğu olup drenaj yoğunluğu ile yakından ilişkilidir (Gebre,

Kibru, Tesfaye ve Taye, 2015). Yüzeysel akış uzunluğu değerlerine göre düşük (< 0,20), orta (0,20 – 0,30) ve yüksek (> 0,30) olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır (Dursun ve Babalık, 2023). Yüzeysel akış uzunluğunun yüksek olması düşük eğim ve uzun akış yolunu ifade etmektedir. Dolayısıyla daha az yüzeysel akış ve daha çok sızma meydana gelmektedir. Bu durumda daha az erozyon duyarlılığı söz konusu olmaktadır.

Ortalama akarsu uzunluğu (L_{um})

Ortalama akarsu uzunluğu, bir havzadaki akarsuların toplam uzunluğunun, akarsu mertebelerinin sayısına bölünmesiyle elde edilmektedir. Akarsu uzunluk oranının düşük olması, akarsuyun kolayca drene olabileceği, yüzey akışın düşük, sızmanın yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Bu uzunlamasına havzalarda görülen bir özelliktir (Özdemir, 2011). Dolayısıyla düşük taşkın potansiyeli ve erozyon duyarlılığını ifade etmektedir.

4.4.2. Alansal parametreler

Alansal morfometrik parametreler, havzaların alansal özelliklerini belirleyen iki boyutlu ifadelerdir. Havzaya düşen yağışın ve oluşan yüzeysel akışın toplanmasını ifade ettikleri için erozyon duyarlılığının değerlendirilmesi açısından son derece önemli role sahiptirler. Çalışma kapsamında Çoruh Havzası için hesaplanan alansal parametreler drenaj yoğunluğu (D_d), akarsu sıklığı (F_s), infiltrasyon değeri (I_f), dairesellik oranı (R_c), uzunluk oranı (R_e), gravelius değeri (K_g) ve form faktörü (F)'dir.

Drenaj yoğunluğu (D_d)

Drenaj yoğunluğu havzadaki akarsuların toplam uzunluğunun, havza alanına oranını yani birim havza alanındaki ortalama akarsu uzunluğunu ifade etmektedir (Kamuş ve Dutucu, 2023). Drenaj yoğunluğunu havzanın toprak yapısı, iklimi ve rölyefi gibi özellikleri etkilemektedir. Yüzeysel akış uzunluğu değeri, drenaj yoğunluğu ile ters orantılıdır. Yüzeysel akışın düşük olduğu havzalarda, drenaj yoğunluğu ve sızmanın yüksek olduğu görülmektedir (Özdemir, 2011). Bunun nedeni de havzanın yoğun bitki örtüsüne ve geçirgen toprak yapısına sahip olmasıdır. Sonuç olarak bu durumda düşük taşkın potansiyeli ve erozyon duyarlılığı söz konusudur.

Akarsu sıklığı (F_s)

Akarsu sıklığı, birim alan başına düşen toplam akarsu sayısını ifade etmekte ve drenaj yoğunluğu ile beraber bir bölgedeki litolojinin karakterini göstermektedir. Akarsu sıklığı dört sınıfta değerlendirilmektedir. Bunlar; düşük (0 – 2,5), orta (2,5 – 3,5), yüksek (3,5 – 4,5) ve çok yüksek (4,5 ve üzeri) 'tir (Malik, Bhat ve Kuchay, 2011). Peltier (1962), ortalama eğime sahip yarı kurak bölgelerde akarsu sıklık değerinin fazla, kurak bölgelerde çok az olduğunu ifade etmiştir. Akarsu sıklığının düşük olması, yüzeysel akışın daha az, sızmanın ise daha fazla olduğunu göstermektedir. Böylece taşkın potansiyeli ile erozyon duyarlılığının da azaldığı anlamına gelmektedir.

İnfiltasyon değeri (I_f)

İnfiltrasyon değeri, drenaj yoğunluğu ile akarsu sıklığı çarpımı sonucu elde edilen bir parametredir. Suyun toprak yüzeyinden toprak içine girebilme hızına infiltrasyon denir. Bir arazide yüzeysel akışa geçecek su miktarı, toprağın infiltrasyon kapasitesiyle ilişkilidir. İnfiltrasyon değerinin düşük olması, toprak geçirgenliğinin düşük olması yani sızmanın az olması anlamına gelmektedir. Bu durumda yüzeysel akış artacağından erozyon riski de artmaktadır. Yani infiltrasyon değerinin fazla olması erozyon duyarlılığının düşük olduğunu ifade etmektedir (Çimen, 2019).

Dairesellik oranı (R_c)

Morfometrik parametrelerden bir diğeri olan dairesellik oranı, havzanın şekli, topoğrafyası, havzanın eğimi gibi faktörlerden etkilenmektedir. Dairesellik oranı genelde 0,2-0,8 aralığında değişim göstermektedir (Malik, Kumar, Kushwaha, Kisi, Salih, Al-Ansari ve Yaseen, 2019). Küçük dairesellik oranı yüzeysel akışın daha yavaş olduğunu dolayısıyla erozyon duyarlılığının daha az ve havza kollarının genç evrede olduğunu ifade etmektedir. Zavoianu (1985), R_c'nin 1'e eşit olması durumunda havzanın mükemmel daire formunda, R_c'nin 0,785'e eşit olması durumunda ise havzanın kare formunda olduğunu belirtmiştir.

Uzunluk oranı (R_e)

Uzunluk oranı, havzayla aynı alana sahip bir dairenin çapıyla havzanın maksimum uzunluğunun oranı olarak ifade edilmektedir. Uzunluk oranı bölgenin çeşitli koşullarına bağlı olarak genellikle 0,6-1,0 arasında değişmektedir (Schumm, 1956). 1,0'e yaklaşması alçak topoğrafik yapıyı, 0,6-0,8 arasında olması genellikle dik bir topoğrafyayı temsil etmektedir (Strahler, 1964). Literatürde uzunluk oranı üç kategoriye ayrılmaktadır. Bunlar $R_e>0,9$, $0,8<R_e<0,9$ ve $R_e<0,7$ olup sırasıyla dairesel, oval ve az uzun havzaları ifade etmektedirler (Altaf, Meraj ve Romshoo, 2014). Havzanın uzunluk oranı ile erozyon riski arasında ters orantı söz konusudur (Singh, Barman ve Tirkey, 2021). Buna göre uzunluk oranının azalmasıyla erozyon duyarlılığı artmaktadır. Değerin düşük olması erozyon ve sediment yükü açısından duyarlılıklarının arttığını göstermektedir (Reddy, Maji ve Gajbhiye. 2004).

Gravelius indeksi (K_g)

Sıklık katsayısı olarak da bilinen gravelius indeksi, havzanın şekli hakkında bilgi vermektedir. Değeri 1'e yaklaştıkça havzanın daha yuvarlak bir şekil aldığı, 1'den uzaklaştıkça havzanın daha karmaşık ve düzensiz bir forma sahip olduğu anlaşılmaktadır (Sassolas-Serrayet, Cattin ve Ferry, 2018). Gravelius indeksinin düşük değer alması geçirimliliğin düşük ve erozyon duyarlılığının az olduğunu, yüksek değer alması ise yüksek erozyon duyarlılığını ifade etmektedir (Patel, Gajjar ve Srivastava, 2013).

Form faktörü (R_f)

Form faktörü, havza alanının maksimum havza uzunluğu karesine oranıdır (Horton, 1932). Form faktörü değerinin 0'a yaklaştığı havzalar dar ve uzun yapıda olduğundan düşük yüzey akış oluşmakta, dolayısıyla toplanma süresi daha uzun olmaktadır. Dairesel havzalarda ise pik debi daha kısa sürede oluşmakta ve erozyonu etkilemektedir (Çıtak ve Kılıç, 2023). Dolayısıyla en düşük form faktörüne sahip olanlarda erozyon duyarlılığı da düşük olmaktadır.

4.4.3. Rölyef parametreler

Havzaların eğim ve yükseklik değerlerinin yer aldığı rölyef parametreler grubunda çalışma kapsamında havza rölyefi (H), rölyef oranı (R_h), engebelilik değer (R_n), havzanın eğimi (S) ve Melton engebelilik değeri (MRn) parametreleri değerlendirilmiştir.

Havza rölyefi (B_h)

Havza rölyefi, havzanın en yüksek ve en düşük noktası arasındaki düşey yükseklik farkını ifade etmektedir (Çakırgöz, 2024). Havza rölyefi yüksek olan havzalar daha dik eğimlere ve dolayısıyla düşük akım toplanma sürelerine sahiptirler. Böylece yüksek yüzey akış sonucunda erozyon duyarlılığı da yüksek olmaktadır.

Rölyef oranı (R_h)

Rölyef oranı, havzanın ana drenaj koluna paralel en uzun kolu boyunca havza rölyefi veya toplam rölyefin yatay mesafeye oranıdır (Schumm, 1956). Relief oranı, havzalarda taşınan sediment miktarı ile erozyon duyarlılığı üzerinde de etkilidir. Yüksek rölyef oranı ani taşkın olasılığını ve dolayısıyla erozyon duyarlılığını artırmaktadır.

Engebelilik değeri (R_n)

Engebelilik değeri, maksimum havza rölyefinin ve drenaj yoğunluğunun sonucudur (Strahler,1956). Engebelilik değerleri azaldıkça havzanın erozyon duyarlılığı ve pik akımlarda azalış meydana gelmektedir (Melton, 1957; Avcı ve Sunkar, 2015). Bunun tam tersi durumda yüksek engebelilik değeri erozyon duyarlılığını da artırmaktadır.

Havzanın eğimi (S)

Eğim havzanın topoğrafyası hakkında bilgi vermektedir. Vadi ve dağlık alanlarda eğim daha fazladır. Eğimin artması ile beraber yüzey akış hızı da doğru orantılı olarak artmaktadır. Böylece yüzeysel akış ile erozyon duyarlılığı da artmaktadır.

Melton engebelilik değeri (MRn)

Melton Engebelilik Değeri, Melton (1965) tarafından tanımlanmıştır. Bu eğim indeksi havzanın maksimum ve minimum kot farkının, havza alanının karekökü̈ne bölünmesiyle elde edilmektedir. Değerin artması eğimin yüksek, havzanın daha engebeli, sedimentin daha fazla olduğunu ifade etmektedir. Dolayısıyla havzanın ve taşkın hassasiyeti ile erozyon duyarlılığının yüksek olduğunu göstermektedir.

4.5. Jeolojik-Hidrolojik Parametreler

Topoğrafik nemlilik indeksi (TWI)

Topoğrafik nemlilik indeksi (topographic wetness index), Beven ve Kirkby (1979) tarafından geliştirilmiştir. Bu parametre zeminin suya doygunluğu ve zemin içindeki suyun eğimi ile ilgili olup daha çok heyelana yönelik çalışmalarda kullanılmaktadır (Eş. 4.1).

$$\mathrm{TWI} = \ln \frac{\mathrm{As}}{\tan\beta} \tag{4.1}$$

Burada $A_{s:}$ akış toplama alanı yani bir noktaya yukarı havzadan gelen suyun biriktiği alanı, β ise derece cinsinden eğimin radyana çevrilmiş halini ifade etmektedir.

Çalışmalarda genellikle Natural Breaks (Jenks) yöntemine göre düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. Erozyona duyarlı alanların belirlenmesi çalışmalarına zemindeki suyun yüzey akış hızını, zemine sızmasını ve göllenmeyi etkilemesi nedenleriyle dahil edilmektedir. TWI en düşük değerlerini sırtlarda, göllenmenin düşük olacağı dış bükey eğimlerde ve dik yamaçlarda almaktadır. Göllenmenin olabileceği düzlüklerde ve eğimi küçük olan yerlerde ise TWI değeri yüksektir. Dolayısıyla erozyon duyarlılığı TWI değerinin düşük olduğu yerlerde artmaktadır.

Akarsu güç indeksi (SPI)

Akarsu güç indeksi (stream power index) veya akarsu aşındırma güç indeksi olarak bilinen bu parametre akarsuyun aşındırma gücünü değerlendirmektedir. Genellikle eğimin fazla

olduğu yamaçlarda ve sırtlarda yüksek değerler almaktadır. Dolayısıyla akarsu güç indeksi ne kadar yüksek olursa alanın erozyon hassasiyeti de o kadar fazla olmaktadır (Eş. 4.2).

$$SPI = \ln (A_s * \tan\beta) \quad (4.2)$$

Arazi engebelilik indeksi (TRI)

Arazi engebelilik indeksi (terrain ruggedness index), Riley, DeGloria ve Elliot (1999) tarafından geliştirilmiştir. TRI akış hızını etkileyen arazi engebeliliği ile ilgili bir parametredir. Bir noktanın yüksekliği ile çevresindeki komşu hücrelerin yükseklik farklarının kareleri toplanır ve bu toplamın karekökü alınarak indeks hesaplanır (Eş. 4.3). Bu işlem için ArcGIS 10.8 programında "Focal Statistics" fonksiyonu kullanılmaktadır. TRI değerinin yüksek olması dağlık bölgeler ve eğimin fazla olduğunu, sıfıra yaklaşması düz bölgeler ve eğimin daha az olduğunu ifade etmektedir. Dolayısıyla yüksek TRI değerlerinde erozyon duyarlılığı da yüksek olmaktadır.

$$TRI = \sqrt{\sum_{i=1}^{8}(x_i - E)^2} \quad (4.3)$$

Burada E: noktanın yüksekliğini, x_i ise sekiz adet komşu hücre yüksekliklerinin her birini ifade etmektedir.

Topoğrafik pozisyon indeksi (TPI)

Topoğrafik pozisyon indeksi (topographic position index) formülü, Jennes (2006) tarafından önerilmiştir. TPI bir hücrenin yükseklik değeri ile çevresindeki komşu hücrelerin yükseklik ortalaması arasındaki farkı dikkate almaktadır (Eş. 4.4). Bu değerin negatif olması belirlenen hücrenin komşu hücrelere göre daha alçak bir yerde bulunduğunu, hatta önemli oranda düşük değerde olması ise vadi veya kanyon tabanında yer aldığını göstermektedir. Bu değer pozitif ise belirlenen hücrenin komşu hücrelere göre yüksekte yer aldığını, önemli oranda yüksek değerlerde olması halinde ise sırt veya tepelerde bulunduğunu göstermektedir. Dolayısıyla yüksek TPI değeri, erozyon duyarlılığının yüksek olduğu yerleri ifade etmektedir. Sıfıra yakın değerler de orta eğimli veya düz alanları temsil etmektedir. TPI

verilerinden yararlanılarak arazi formu sınıfları haritası elde etmek ve erozyon duyarlılığı ile ilgili fikir sahibi olmak mümkündür.

$$TPI = E - \frac{\sum_{i=8}^{8} x_i}{8} \quad (4.4)$$

4.6. Çalışmada Kullanılan Yöntemler

4.6.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi (AHP)

Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi (AHP), 1977 yılında Saaty tarafından geliştirilmiş olan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden birisidir. AHP yönteminde hem nicel hem nitel değişkenler (parametreler) birlikte değerlendirilmekte ve karar verilirken kişilerin (uzmanların, bireylerin) öncelikleri, tecrübeleri ve bilgisi dikkate alınabilmektedir. AHP yönteminde ilk iş olarak hiyerarşik yapı oluşturulmaktadır. Sonrasında parametrelerin (kriterlerin) birbirlerine göre göreceli üstünlükleri belirlenir. Göreceli üstünlükler Saaty'nin (1977) özvektör yöntemi kullanarak yapılmaktadır. Buna göre ikili üstünlük matrisi *A*, Eş. 4.5'te verilmiştir.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{21} & . & . & . & a_{1n} \\ a_{21} = 1/a_{12} & 1 & . & . & . & a_{2n} \\ . & . & 1 & . & . & . \\ . & . & . & 1 & . & . \\ . & . & . & . & 1 & . \\ a_{n1} = 1/a_{1n} & a_{2n} & . & . & . & 1 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

İkili üstünlük matrisi oluşturulduktan sonra Eş. 4.6'de gösterildiği gibi her sütundaki değerler toplanarak, her hücredeki değer kendi sütununun toplamına bölünerek normalize edilir ve böylece normalize karşılaştırılmalı matris oluşturulur. Normalize edilmiş karşılaştırılmalı matrisin doğruluğu için her sütunun toplamının 1 olması gerekmektedir. Böylece parametrelerin diğer bir ifade ile kriterlerin belirlenen göreceli üstünlüklerinin ve kriter ağırlıklarının doğruluğundan emin olunabilir.

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}} \quad ; \quad i,j = 1,2,\ldots,n \quad (4.6)$$

Normalize edilmiş karar matrisinin her satırının aritmetik ortalaması hesaplanır ve öncelik vektörü oluşturulur. Her satırdaki kriter için elde edilen öncelik vektörü, ikili karşılaştırma matrisindeki o kritere ait tüm sütundaki değerler ile çarpılarak ağırlıklı toplam matrisi elde edilir. Bu işlem Eş. 4.7'de gösterilmiştir.

$$w_i = \frac{1}{n}\sum_{i_1}^{n} a'_{ij} \quad ; \quad i,j= 1,2\ldots,n \tag{4.7}$$

Eş. 4.8'de verildiği gibi ağırlıklandırılmış toplam matrisin satırları toplanır ve bu değer önceden bulunmuş olan her satırın öncelik vektörüne (w_i) bölünür. Oluşan matrisin aritmetik ortalaması olan λ_{max} değeri hesaplanır. Maksimum özdeğer (λ_{max}) ikili üstünlük matrisindeki elemanların sayısına (n) ne kadar yakınsa sonuç da o kadar tutarlı olmaktadır (Kumar ve Ganesh, 1996).

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\sum_{j_1}^{n} a_{ij}w_j}{w_i}\right) \tag{4.8}$$

Son aşama da ikili üstünlük matrisindeki (A) değerlerin tutarlı olup olmadığını belirlemek amacıyla tutarlılık oranı hesaplanmalıdır. Bunun için ilk önce tutarlılık göstergesi (consistency index-CI) hesaplanır (Eş. 4.9).

$$CI = \frac{\lambda_{max}-n}{(n-1)} \tag{4.9}$$

Tutarlılık oranı (consistency ratio-CR) değeri, tutarlılık indeksi (CI)'nın rassal indekse (RI) oranı olup Eş.4.10'daki gibi hesaplanır. RI değeri Çizelge 4.7'de verildiği üzere matris boyutlarına göre değişir ve Saaty (1980)'nin yaptığı tablo değerleri kullanılarak belirlenir (SpiceLogic, n.d.).

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{4.10}$$

Çizelge 4.7. Rassallık göstergeleri (Saaty, 1980)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59	1,605	1,61	1,615	1,62	1,625

Tutarlılık oranının 0,10 değerinden küçük olması çözümün tutarlı olduğu anlamına gelmektedir. Eğer CR 0,1'den büyük ise kriterlerin ikili karşılaştırılmaları tekrar gözden geçirilmelidir.

Uzman görüşü ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi (AHP-U)

Çalışma kapsamında AHP yönteminin temel bileşenlerinden biri olan Eş. 4.5'deki karşılaştırılmalı üstünlük matrisi için kapsamlı literatür çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda literatürde kullanılan uzman görüşleri doğrultusunda karşılaştırılmalı matris oluşturulmuş ve hesaplanan ağırlıkların tutarlılığı kontrol edilmiştir. Bu yöntem çalışmanın ileri ki bölümlerinde kısaca AHP-U olarak yazılmıştır. AHP-U yöntemi ile elde edilmiş olan kriter ağırlıkları daha sonra COPRAS ve TOPSIS yöntemlerinde kullanılarak havzaların erozyon duyarlılık haritaları oluşturulmuştur.

Doğrusal normalizasyon ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi (AHP-N)

Uzman görüşü, uzmanın bilgisi ve tecrübesi doğrultusunda farklılık gösterebilir. Ayrıca kriterler farklı ölçü birimlerine sahip olabilmekte ve bunları değerlendirmek uygun olmayabilmektedir. Bu nedenle AHP'de uzman görüşüyle elde edilmiş olan sonuçlar optimum çözümü garantileyememektedir (Satıcı, 2021). Bu nedenle kriterlerin performans değerleri normalize edilerek boyutsuz hale getirilebilmektedir. Bu işlem için literatürde farklı normalizasyon yöntemleri vardır. Bu çalışma kapsamında literatürde doğrusal normalizasyon (max-min) olarak bilinen tehlike derecesi (hazard index) kullanılmıştır. Bu yöntemde karar matrisindeki kriterler yani parametreler negatif ve pozitif olarak sınıflandırıldılar. Negatif kriterler, parametre değerin artması ile erozyon duyarlılığının doğru orantılı olarak artış gösterdiği parametrelerdir. Pozitif kriterler ise parametre değerinin artması ile erozyonun azaldığı yani erozyon duyarlılığı ile ters orantılı olan parametrelerdir. Eş. 4.11 ve Eş. 4.12'deki eşitliklerden yararlanılarak normalizasyon işlemi yapılmıştır. Elde edilen ağırlıkların tutarlılığı Eş. 4.10'da verildiği gibi kontrol edilmelidir. Bu yöntem çalışmanın ileri bölümlerinde kısaca AHP-N olarak yazılmıştır.

$$\mathrm{HD} = \frac{4(\mathrm{X}-\mathrm{X_{min}})}{(\mathrm{X_{max}}-\mathrm{X_{min}})} + 1 \qquad (4.11)$$

$$HD = \frac{4(X - X_{max})}{(X_{min} - X_{max})} + 1 \quad (4.12)$$

Burada X:karar matrisindeki kriteri, X_{min} ve X_{max} ise kriterin sırasıyla en küçük ve en büyük değerlerini ifade etmektedir. Formülde yer alan dört ise kriterlerin çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere beş sınıfta ifade edildiklerini göstermektedir. Formülün sonunda yer alan +1, normalizasyon sonucunda elde edilen değerin minimum 1 olmasını sağlamaktadır. Yani, tehlike derecesi her zaman 1'den başlamakta ve yukarı doğru artmaktadır.

4.6.2. Shannon Entropi yöntemi

Claude E. Shannon tarafından 1948 yılında geliştirilmiş olan bu yöntem rastgele dağılımlı veride bulunan belirsizliği ölçmektedir. Yani entropi rastgele bir değişkenin değerini tahmin ederken belirsizliği sayısallaştırmaktadır. Shannon'ın tanımladığı entropi taşkın potansiyeli, heyelan ve erozyon duyarlılığı gibi doğal afetlerin haritalaştırılmasında kullanılmaktadır. Bu yöntemde ilk önce karar matrisi oluşturulmaktadır. Daha sonra kriterlerin (parametrelerin) maksimum ve minimum değerleri kullanılarak frekans seviyeleri belirlenmektedir. Çalışmada çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek olmak üzere 5 aralık kullanılmıştır. Her aralık seviyesi, o aralıktaki değerlerin toplam frekans seviyelerine bölünmesiyle Eş. 4.13'de verildiği gibi normalize edilmektedir.

$$P_{ij} = \frac{FR_{ij}}{\sum_{i=1}^{mj} FR_{ij}} \quad (4.13)$$

Burada P_{ij} olasılık yoğunluğunu ve FR_{ij} de verilen parametreler için frekans oranını ifade etmektedir.

Daha sonra her kriterin entropi değeri hesaplanarak kritere ait entropi değerleri toplanır ve o kriterin belirsizlik seviyesi elde edilir (Eş. 4.14).

$$H_j = -\sum_{i=1}^{m} P_{ij} * \log_2(P_{ij}) \quad (4.14)$$

Burada H_j entropi değerini göstermektedir.

Entropi değerlerinin maksimum olduğu gerçek entropi değeri çıkarılıp, maksimum değere bölünmesi ile ayrım gücü oranı elde edilmektedir (Eş. 4.15).

$$I_j = \frac{H_{j,max} - H_j}{H_{j,max}} \tag{4.15}$$

Önem derecelerini belirlemek için kriterlerin ağırlıkları Eş. 4.16'da yer alan formül ile hesaplanmaktadır. Bu yöntem ile her parametrenin göreceli önem dereceleri elde edilmiş olmaktadır.

$$W_j = \frac{I_j}{\sum I_j} \tag{4.16}$$

4.6.3. Temel Bileşen Analizi (Principal Component Analysis-PCA)

Temel Bileşen Analizi, çok sayıda birbiriyle bağlantılı parametreden oluşan bir veri grubundaki bilginin amaca göre tüm verilerini kullanmak yerine baskın verilerin matematiksel olarak ifadelerini sağlayan çok değişkenli istatistiksel bir yöntemdir. Çok sayıdaki parametrenin azaltılmasıyla kullanılan parametrelere temel bileşenler denir. Böylece birbiriyle bağlantılı n tane parametre doğrusal ve birbirinden bağımsız olan m adet parametreye indirgenir.

Çalışma kapsamında 93 alt havza için belirlenen 20 parametrenin tümünü kullanarak erozyon duyarlılığının belirlenmesi yerine veri seti içinde erozyon duyarlılığı üzerinde daha baskın parametrelerin kullanılmasını sağlamak amacıyla PCA uygulanmıştır. Çalışmada IBM SPSS Statistics Verison 28.0.0.0 (190) kullanılarak analizler yapılmıştır.

Öncelikle temel bileşen analizinin (PCA) uygulanabilmesi için alt havzalara ait verilerin faktör analizine uygun olup olmadığının değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, yaygın olarak kullanılan Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) testi ve Bartlett'in küresellik testi uygulanmaktadır. Bartlett testi, korelasyon matrisinin anlamlı olup olmadığını gösteren bir ki-kare (χ^2) istatistiği, KMO ise verilerin faktör analizine uygunluğunu ölçen bir kriterdir (Bartlett, 1950). Literatüre göre KMO değeri 0,90 üzerindeyse mükemmel, 0,7–0,9 aralığında iyi, 0,5–0,7 arasında ise orta düzeyde kabul edilmektedir. 0,5'in altındaki değerlerde ise daha fazla veri toplanması önerilmektedir.

Veri matrisi satırlar alt havza, sütunlar morfometrik parametreler olmak üzere oluşturulmakta ve bu matristen korelasyon matrisi elde edilerek aralarında güçlü, iyi ve orta korelasyonlu parametreler belirlenmektedir (güçlü korelasyon r > 0,90 ; iyi korelasyon 0,90 ≥ r > 0,75 ; orta korelasyon 0,75 ≥ r > 0,60).

Korelasyon matrisinin ardından değişkenlerin ilişkisini gösteren parametrelere ait özdeğer vektörleri hesaplanmaktadır. Hesaplanan özdeğer vektörlerinden 1 ve 1'den büyük olan parametreler temel bileşenler yeni etkili parametreler olarak seçilmektedir (Koçyiğit, Akay Babaiban, 2021). Böylece parametre sayısı azaltılarak veri matrisi küçültülmekte, çalışma amacı üzerinde etkili olmayan parametreler elimine edilerek analiz basitleştirilmektedir.

4.6.4. COPRAS yöntemi

Karmaşık Oransal Değerlendirme anlamına gelen COPRAS (Complex Proportional Assessment) yöntemi bir veri grubundaki hem nicel hem de nitel kriterleri değerlendirebilen bir ÇKVV yöntemidir. AHP, TOPSIS ve VIKOR gibi diğer ÇKVV yöntemleriyle karşılaştırıldığında daha basit ve uygulaması kolaydır.

Bu yöntemi diğer yöntemlerden ayıran en temel fark, alternatif seçenekler arasındaki karşılaştırmaları yaparak her birinin diğerlerine göre üstünlüğünü ya da dezavantajını yüzdelik olarak belirtmesidir. Yöntemde Çoruh Havza'sının alt havzaları alternatif olarak, morfometrik parametreler ise kriterler olarak belirlenmiştir. Erozyona karşı duyarlı ve duyarlı olmayan morfometrik parametreler avantajlı ve avantajlı olmayanlar olarak değerlendirilerek iki gruba ayrılmıştır.

Karar verme matrisi X, Eş. 4.17'de gösterildiği gibi oluşturulur. Matriste i alternatifleri, j kriterleri, n alternatif sayısını ve m kriter sayısını ifade etmektedir (Ertuğrul ve Öztaş, 2016).

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2m} \\ . & . & \dots & . \\ . & . & \dots & . \\ . & . & \dots & . \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nm} \end{bmatrix} \quad ; i = \overline{1,n} \qquad j = \overline{1,m} \tag{4.17}$$

$\overline{X}$ normalize karar verme matrisi Eş. 4.18 ve Eş. 4.19 'da ifade edildiği gibi oluşturulur.

$$\overline{X}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} x_{ij}} \quad ; \quad i= \overline{1,n} \quad j = \overline{1,m} \tag{4.18}$$

$$\overline{X} = \begin{bmatrix} \overline{X}_{11} & \overline{X}_{12} & \cdots & \overline{X}_{1m} \\ \overline{X}_{21} & \overline{X}_{22} & \cdots & \overline{X}_{2m} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \overline{X}_{n1} & \overline{X}_{n2} & \cdots & \overline{X}_{nm} \end{bmatrix} \quad ; i= \overline{1,n} \quad j = \overline{1,m} \tag{4.19}$$

Eş. 4.20 ile ifade edildiği gibi kriter ağırlıkları q_j, $\overline{X}$ normalize matrisle çarpılarak $\widehat{X}$ ağırlıklandırılmış normalize matris elde edilir (Eş. 4.21).

$$\widehat{X}_{ij} = \bar{x}_{ij} * q_j \tag{4.20}$$

$$\widehat{X} = \begin{bmatrix} \widehat{X}_{11} & \widehat{X}_{12} & \cdots & \widehat{X}_{1m} \\ \widehat{X}_{21} & \widehat{X}_{22} & \cdots & \widehat{X}_{2m} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \widehat{X}_{n1} & \widehat{X}_{n2} & \cdots & \widehat{X}_{nm} \end{bmatrix} \quad ; i= \overline{1,n} \quad j = \overline{1,m} \tag{4.21}$$

Eş. 4.22 ve Eş. 4.23'de verildiği üzere R_i her alternatif için avantajlı olmayan kriterler toplamı, P_i her alternatif için avantajlı kriterler toplamını ifade eder. Avantajlı (erozyona duyarlılığı ile değeri arasında ters orantılı ilişkisi olan) kriter değeri sayısı k olarak ifade edilirken, avantajlı olmayan (erozyona duyarlılığı ile değeri arasında doğrusal ilişkisi olan) kriter sayısı (m-k) olarak ifade edilir.

$$P_i = \sum_{j=1}^{k} \hat{x}_{ij} \tag{4.22}$$

$$R_i = \sum_{j=k+1}^{m} \hat{x}_{ij} \tag{4.23}$$

Minimum R_i değerli belirlendikten sonra göreceli önem değerleri Q_i, Eş. 4.24'de ifade edildiği gibi bulunur.

$$Q_i = P_i + \frac{R_{min} * \sum_{i=1}^{n} R_i}{R_i * \sum_{i=1}^{n} \frac{R_{min}}{R_i}} \quad (4.24)$$

Her bir alt havza yani alternatif için fayda derecesi Eş. 4.25'de verildiği şekilde N_i ile hesaplanmaktadır. En düşükten en yükseğe doğru N_i değerlerinin sıralanması ile alt havzalar da erozyona duyarlılık açısından en düşükten en yükseğe doğru önceliklendirmiş olmaktadır.

$$N_i = \frac{Q_i}{Q_{max}} * 100 \quad (4.25)$$

N_i değerlerinden en iyi seçenek 100 olan seçenektir.

4.6.5. TOPSIS yöntemi

Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilmiş olan TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi ÇKKV yöntemlerinden biridir. Matematiksel yöntemler kullanılarak uygulanan TOPSIS, güvenilir ve alternatifler arasında kolay uygulanabilir olduğundan sıklıkla tercih edilmektedir. COPRAS yönteminde olduğu gibi morfometrik parametreler avantajlı ve avantajlı olmayanlar olarak iki gruba ayrılmaktadır. Parametre değerinin artmasıyla erozyonun artmasına sebep olan parametreler avantajlı olmayan grup, parametre değerinin artması ile erozyon riskinin azalmasına neden olan parametreler avantajlı grup olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntem ile Çoruh Havzası'nın alt havzaları alternatifler olarak belirlenmiş, alt havzaların ideal çözüme göre en kısa (en iyi durum) ve en uzak (en kötü durum) mesafeleri hesaplanmıştır.

Yöntemde başlangıç olarak karar matrisi *A*, Eş. 4.26'de gösterildiği gibi oluşturulur. Alternatifler alt alta, kriterler yan yana sıralanır. Daha önceki yöntemde olduğu gibi matriste i alternatifleri, j kriterleri, n alternatif sayısını ve m kriter sayısını göstermektedir. (Uygurtürk ve Korkmaz, 2012).

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1m} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2m} \\ . & . & \dots & . \\ . & . & \dots & . \\ . & . & \dots & . \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nm} \end{bmatrix} \quad ; i= \overline{1,n} \qquad j = \overline{1,m} \tag{4.26}$$

$\overline{A}$ normalize karar verme matrisi için, Eş. 4.27'de belirtildiği gibi karar matrisindeki kriter değerlerinin kareleri toplanarak karekökü alınır. Bu şekilde matris normalize edilerek oluşturulur (Eş. 4.28)

$$\overline{A}_{ij} = \frac{A_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} A_{ij}^{\,2}}} \quad ; \quad i= \overline{1,n} \qquad j = \overline{1,m} \tag{4.27}$$

$$\overline{A} = \begin{bmatrix} \overline{A}_{11} & \overline{A}_{12} & \dots & \overline{A}_{1m} \\ \overline{A}_{21} & \overline{A}_{22} & \dots & \overline{A}_{2m} \\ . & . & \dots & . \\ . & . & \dots & . \\ . & . & \dots & . \\ \overline{A}_{n1} & \overline{A}_{n2} & \dots & \overline{A}_{nm} \end{bmatrix} \quad ; i= \overline{1,n} \qquad j = \overline{1,m} \tag{4. 28}$$

Eş. 4.29 ve Eş. 4.30'da ifade edildiği gibi AHP yöntemi ile bulunan her kritere ait ağırlıklar w_j, $\overline{A}$ normalize matrisle çarpılarak $\widehat{A}$ ağırlıklandırılmış normalize matris elde edilir.

$$\widehat{A}_{ij} = \overline{A}_{ij} * w_j \tag{4.29}$$

$$\widehat{A} = \begin{bmatrix} \widehat{A}_{11} & \widehat{A}_{12} & \dots & \widehat{A}_{1m} \\ \widehat{A}_{21} & \widehat{A}_{22} & \dots & \widehat{A}_{2m} \\ . & . & \dots & . \\ . & . & \dots & . \\ . & . & \dots & . \\ \widehat{A}_{n1} & \widehat{A}_{n2} & \dots & \widehat{A}_{nm} \end{bmatrix} \quad ; i= \overline{1,n} \qquad j = \overline{1,m} \tag{4.30}$$

Ağırlıklandırılmış normalize matris oluşturulduktan sonra ideal (A^+) ve negatif ideal (A^-) çözümleri belirleme aşamasına geçilir. Bu adımda kritelerden avantajlı olanlar için pozitif ideal çözüm maksimum değer iken, avantajlı olamayan kriterler için pozitif ideal çözüm minimum değerdir (Eş. 4.31). Aynı şekilde negatif ideal çözüm için avantajlı kriterler minimum, avantajlı olmayan kriterler için maksimum değer belirlenir (Eş. 4.32).

$A^{+} = \{\widehat{A}_1^{+}, \dots, \widehat{A}_m^{+}\} = \{(\max_i \widehat{A}_{ij} \,|i \in I)\,, (\min_i \widehat{A}_{ij} \,|i \in I')\}$

; I : avantajlı kriter I : avantajlı olmayan kriter (4.31)

$A^{-} = \{\widehat{A}_1^{-}, \dots, \widehat{A}_m^{-}\} = \{(\min_i \widehat{A}_{ij} \,|i \in I)\,, (\max_i \widehat{A}_{ij} \,|i \in I')\}$

; I : avantajlı kriter I : avantajlı olmayan kriter (4.32)

Bu değerler belirlendikten sonra her alternatifin (alt havzanın) pozitif ideal çözüme ve negatif ideal çözüme olan mesafeleri Euclidian uzaklık yaklaşımı ile hesaplanmaktadır. Eş. 4.33 ve Eş. 4.34 'de verildiği gibi Pozitif İdeal Ayırım Ölçüsü, S_i^{+}; Negatif İdeal Ayırım Ölçüsü, S_i^{-} şeklinde ifade edilmektedir.

$$S_i^{+} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(\widehat{A}_{ij} - \widehat{A}_j^{+})^2} \quad (4.33)$$

$$S_i^{-} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(\widehat{A}_{ij} - \widehat{A}_j^{-})^2} \quad (4.34)$$

Hesaplanan pozitif ve negatif ideal ayırım ölçülerinden yararlanılarak göreli yakınlık değerleri Eş. 4.35'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

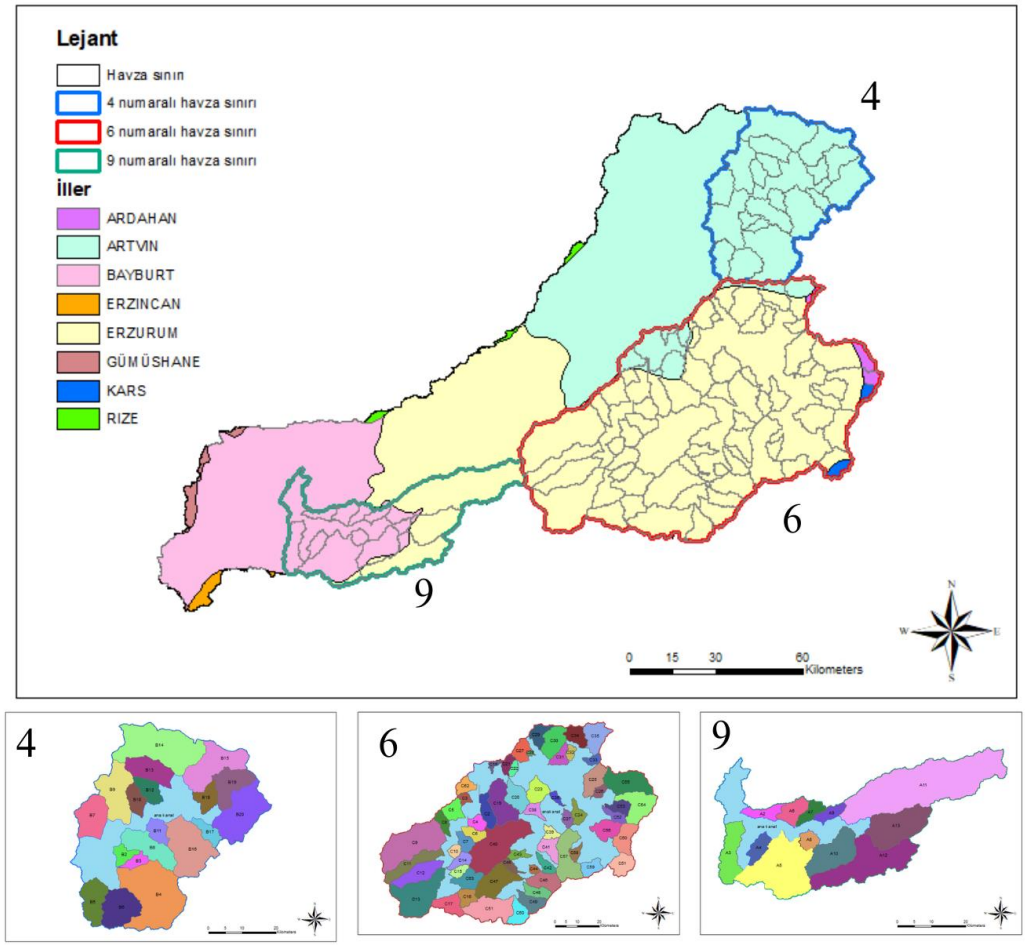
$$C_i^{+} = \frac{S_i^{-}}{S_i^{+} + S_i^{-}} \;\; ; \; 0 < C_i^{+} < 1 \quad (4.35)$$

Elde edilen C_i^{+} yakınlık değerlerinden 1'e en yakın yani en büyük C değeri, parametrelerden avantajlı olanların maksimize edilmesi nedeniyle erozyona duyarlılığı en az riskli olan alternatifi; 0'a en yakın yani en küçük C değeri ise parametrelerden avantajlı olmayanların minimize edilmesi nedeniyle erozyon duyarlılığı en riskli olan alternatifi temsil etmektedir. C değerlerinin en yüksekten en düşüğe sıralanması, alt havzaların erozyon duyarlılığının en düşükten en yükseğe doğru önceliklendirilmesi anlamına gelmektedir.

5. ÇORUH HAVZASI'NDA EROZYON DUYARLILIĞI ANALİZ SONUÇLARI

5.1. Morfometrik Parametrelerin Erozyon Duyarlılığının Değerlendirilmesi

Çoruh Havzası'nın yaklaşık alanı 20 097 km^2 olup Havza 4, 6 ve 9'a ait havza alanları sırasıyla yaklaşık olarak 2 277 km^2, 6 963 km^2 ve 1 822 km^2 olarak belirlenmiştir. Böylece seçilen havzalar ile Çoruh Havzası'nın yaklaşık %50'den fazlası için erozyon duyarlılığı analizi yapılmıştır (Harita 5.1).



Harita 5.1. Çalışmadaki üç alt havza ve Çoruh Havzası'ndaki konumları

Çoruh Havzası'nda yer alan ve çalışma kapsamında seçilmiş olan üç alt havza ile bu alt havzalara ait mikro havzaların morfometrik parametrelerini elde edebilmek için öncelikle SYM'nin CBS ile düzenlenmesinin ardından temel geometrik büyüklükleri elde edilmiştir. EK-1 Çizelge 1.1-Çizelge 1.3'te Çoruh Havzası, Havza 4, 6 ve 9 ile alt havzaların alanı, çevre uzunluğu, maksimum, minimum ve ortalama yükseklikleri, havza uzunluğu, toplam

akarsu uzunluğu ile en uzun akış uzunlukları verilmiştir. Bu alt havzaların temel fiziksel büyüklüklerine ait istatistiksel veriler Çizelge 5.1 - Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.1. Havza 4'e ait alt havzaların temel fiziksel büyüklükleri ve istatistiksel verileri

Parametre Değeri	P	A	H_{max}	H_{min}	H_{ort}	L_b
	km	km^2	m	m	m	m
Minimum	26,58	22,46	1 904	363	1 230,87	8 513,17
	B3	B3	B11	B7	B2	B2
Maksimum	85,82	270,35	3 357,00	1 088,00	2 066,77	19 775,59
	B4	B4	B9	B19-B20	B9	B9
Ortalama	47,49	100,38	2 742,74	714,68	1 732,55	13 885,18
Medyan	43,12	85,92	2 975,00	726,00	1 739,59	13 280,38
Basıklık	-0,45	0,64	-0,65	-0,80	-0,44	-1,47
Çarpıklık	0,72	1,10	-0,84	0,17	-0,64	0,25

Çizelge 5.2. Havza 6'ya ait alt havzaların temel fiziksel büyüklükleri ve istatistiksel verileri

Parametre Değeri	P	A	H_{max}	H_{min}	H_{ort}	L_b
	km	km^2	m	m	m	m
Minimum	16,01	7,59	2 269,00	677,00	1 386,26	4 248,71
	C28	C28	C44	C18	C22	C28
Maksimum	137,04	371,05	3 229,00	1 996,00	2 468,17	31 849,90
	C40	C9	C9	C61	C61	C9
Ortalama	56,32	83,26	2 771,56	1 265,05	1 994,09	13 590,91
Medyan	48,03	56,12	2 778,00	1 244,50	1 981,07	11 666,80
Basıklık	1,47	5,84	-0,18	0,11	-0,65	1,46
Çarpıklık	1,27	2,28	0,04	0,04	-0,04	1,35

Çizelge 5.3. Havza 9'a ait alt havzaların temel fiziksel büyüklükleri ve istatistiksel verileri

Parametre Değeri	P	A	H_{max}	H_{min}	H_{ort}	L_b
	km	km^2	m	m	m	m
Minimum	28,34	25,75	2 545,00	1 565,00	2 033,91	6 077,04
	A8	A8	A6	A2	A2	A8
Maksimum	176,43	499,97	3 178,00	1 819,00	2 326,63	47 969,76
	A11	A11	A11	A13	A11	A11
Ortalama	71,56	126,98	2 806,33	1 691,92	2 159,15	16 840,19
Medyan	57,07	67,22	2 820,50	1 681,00	2 142,80	15 616,15
Basıklık	1,25	4,10	-1,47	-0,92	-0,88	6,35
Çarpıklık	1,36	1,94	0,20	0,07	0,38	2,26

Bölüm 4.2.2'de Havza 4, 6 ve 9'a ait olan drenaj ağları sırasıyla Harita 4.3 - Harita 4.5'de verilmiştir. Strahler metodu kullanılarak oluşturulan drenaj ağlarının her bir alt havzadaki mertebeler belirlenmiştir. Ek-2'de Çizelge 2.1 - Çizelge 2.6'da her alt havzadaki akarsu sayıları ve uzunlukları mertebeleri ile birlikte verilmiştir.

En büyük akarsu mertebesi Havza 4 ile 6'da 8, Havza 9'da ise 7 olarak belirlenmiştir. Havza 4'te 19 alt havza, Havza 6'da 62 alt havza ve Havza 9'da 12 alt havza olmak üzere toplam 93 alt havza elde edilmiştir. Bu alt havzalarda akarsularla ilgili karakteristik büyüklükler özet olarak Havza 4, 6 ve 9 için sırasıyla Çizelge 5.4-Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.4. Havza 4'e ait alt havzaların akarsularla ilgili karakteristik büyüklükleri

	Havza No	Nu1 (adet) / Lu1 (m)	Nu2 (adet) / Lu2 (m)	Nu3 (adet) / Lu3 (m)	Nu4 (adet) / Lu4 (m)	Nu5 (adet) / Lu5 (m)	Nu6 (adet) / Lu6 (m)	Nu7 (adet) / Lu7 (m)	Nu8 (adet) / Lu8 (m)	∑Nu (adet) / ∑Lu (m)
Maksimum akarsu sayısı olan alt havza	B4	1.906	379	80	18	4	1	-	-	2 388
Minimum akarsu sayısı olan alt havza	B3	156	33	7	2	1	-	-	-	199
Maksimum akarsu uzunluğu olan alt havza	B4	652 724,99	237 363,35	119 101,76	49 024,85	18 387,44	23 495,67	-	-	1 100 098
Minimum akarsu uzunluğu olan alt havza	B3	55 416,68	23 118,70	7 377,82	4 000,00	5 275,00	-	-	-	95 188

Çizelge 5.5. Havza 6'ya ait alt havzaların akarsularla ilgili karakteristik büyüklükler

	Havza No	Nu1 (adet) / Lu1 (m)	Nu2 (adet) / Lu2 (m)	Nu3 (adet) / Lu3 (m)	Nu4 (adet) / Lu4 (m)	Nu5 (adet) / Lu5 (m)	Nu6 (adet) / Lu6 (m)	Nu7 (adet) / Lu7 (m)	Nu8 (adet) / Lu8 (m)	∑Nu (adet) / ∑Lu (m)
Maksimum akarsu sayısı olan alt havza	C9	2 602	546	108	22	6	1	-	-	3 285
Minimum akarsu sayısı olan alt havza	C28	52	10	4	2	1	-	-	-	69
Maksimum akarsu uzunluğu olan alt havza	C9	860 828,59	295 815,29	129 355,37	84 274,10	19 492,25	28 735,11	-	-	1 418 501
Minimum akarsu uzunluğu olan alt havza	C28	15 021,77	10 484,99	2 255,48	1 819,41	915,80	-	-	-	30 497

Çizelge 5.6. Havza 9'a ait alt havzaların akarsularla ilgili karakteristik büyüklükleri

	Havza No	Nu1 (adet) / Lu1 (m)	Nu2 (adet) / Lu2 (m)	Nu3 (adet) / Lu3 (m)	Nu4 (adet) / Lu4 (m)	Nu5 (adet) / Lu5 (m)	Nu6 (adet) / Lu6 (m)	Nu7 (adet) / Lu7 (m)	∑Nu (adet) / ∑Lu (m)
Maksimum akarsu sayısı olan alt havza	A11	3 432	700	158	37	7	1	-	4 335
Minimum akarsu sayısı olan alt havza	A8	170	38	10	3	1	-	-	222
Maksimum akarsu uzunluğu olan alt havza	A11	1 092 077,15	385 554,14	190 921,56	84 404,80	40 490,83	43 279,30	-	1 836 728
Minimum akarsu uzunluğu olan alt havza	A7	58 840,77	19 966,98	10 703,16	1 658,77	9 509,81	-	-	100 679

Genellikle akarsu ağlarında en fazla birinci mertebedeki akarsu sayısı olmakta ve mertebe sayısı arttıkça toplam akarsu uzunlukları azalmaktadır (Magesh, Jitheshlal, Chandrasekar, ve Jini, 2013). Bu durumun Çoruh Havzası geneli içinde geçerli olduğu görülmüştür. Eğimin fazla ve havza genelinde zeminin geçirimli olması nedenleriyle akarsu mertebe uzunlukları nispeten kısadır (Strahler,1964). Bu durum erozyon duyarlılığının daha fazla olduğu anlamına gelmektedir.

Çalışma kapsamında yapılan detaylı literatür araştırması ve havzalara ait veriler göz önüne alındığında erozyon duyarlılığını etkilediği bilinen morfometrik parametrelerden on yedi tanesi seçilmiş ve Çizelge 4.6'da verildiği şekilde değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 5.7-Çizelge 5.9'da Havza 4, 6 ve 9'a ait çizgisel morfometrik parametrelerin minimum, maksimum, ortalama, medyan değerleri ile istatistiksel büyüklüklerinden basıklık ve çarpıklık değerleri verilmiştir.

Çizgisel morfometrik özelliklerden çatallanma oranı (R_b), akarsu uzunluk oranı (R_l), tekstür oranı (T), yüzeysel akış uzunluğu (L_o) ve ortalama akarsu uzunluğu (L_{um}) alt havzalar ve 93 mikro havza için hesaplanmıştır. Tüm alt havzalara ait çizgisel morfometrik parametre değerleri Ek-3 Çizelge 3.1 - Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.7. Havza 4'e ait alt havzaların çizgisel morfometrik parametrelerine ait istatistiksel verileri

Parametre Değeri	Ağırlıklı Çatallanma Oranı	Ağırlıklı Akarsu Uzunluk Oranı	Tekstür Oranı	Yüzeysel Akış Uzunluğu	Ortalama Akarsu Uzunluğu
	R_{bwm} (-)	R_{lwm} (-)	T (1/km)	L_o (km)	L_{um} (km)
Minimum	4,03	2,38	5,87	0,12	0,40
	B12	B8	B3	B3	B12
Maksimum	5,16	2,90	22,21	0,14	0,48
	B10	B7	B4	B12	B3
Ortalama	4,70	2,57	13,18	0,13	0,44
Medyan	4,69	2,54	12,74	0,13	0,44
Basıklık	1,91	1,13	-0,77	-0,07	0,43
Çarpıklık	-0,80	0,90	0,26	0,30	-0,26

Çizelge 5.8. Havza 6'ya ait alt havzaların çizgisel morfometrik parametrelerine ait istatistiksel verileri

Parametre Değeri	Ağırlıklandırılmış Çatallanma Oranı	Ağırlıklandırılmış Akarsu Uzunluk Oranı	Tekstür Oranı	Yüzeysel Akış Uzunluğu	Ortalama Akarsu Uzunluğu
	R_{bwm} (-)	R_{lwm} (-)	T (1/km)	L_o (km)	L_{um} (km)
Minimum	4,12	2,11	3,25	0,11	0,40
	C27	C46	C28	C2	C14
Maksimum	5,56	3,32	19,84	0,14	0,50
	C52	C18	C9	C15	C2
Ortalama	4,77	2,51	8,67	0,13	0,44
Medyan	4,77	2,46	8,07	0,13	0,44
Basıklık	0,29	2,59	2,13	0,75	-0,04
Çarpıklık	0,42	1,14	1,28	-0,66	0,28

Çizelge 5.9. Havza 9'a ait alt havzaların çizgisel morfometrik parametrelerine ait istatistiksel verileri

Parametre Değeri	Ağırlıklandırılmış Çatallanma Oranı	Ağırlıklandırılmış Akarsu Uzunluk Oranı	Tekstür Oranı	Yüzeysel Akış Uzunluğu	Ortalama Akarsu Uzunluğu
	R_{bwm} (-)	R_{lwm} (-)	T (1/km)	L_o (km)	L_{um} (km)
Minimum	4,28	2,32	4,66	0,12	0,38
	A8	A8	A2	A8	A7
Maksimum	5,26	3,29	19,45	0,15	0,47
	A6	A9	A11	A7	A8
Ortalama	4,77	2,65	9,76	0,14	0,43
Medyan	4,80	2,57	8,01	0,13	0,43
Basıklık	-0,29	3,18	-0,37	1,38	1,49
Çarpıklık	-0,05	1,60	0,82	0,24	-0,35

Genel Çoruh Havzası için ağırlıklı çatallanma oranı değeri 4,81 bulunmuştur. Havza 4, 6 ve 9'a bakıldığında en büyük çatallanma oranı değeri 5,56 ile Havza 6'da, en küçük çatallanma oranı değeri 4,03 ile Havza 4'de bulunmaktadır. Havza 9'un ise çatallanma oranının 4,28 ile 5,26 arasında değiştiği belirlenmiştir. Havzaların arasından en büyük çatallanma oranının Havza 6'ya ait olmasını, Bölüm 4'de yer alan en yüksek H_i değerine sahip olması da desteklemektedir. Çatallanma oranının artması dallanmanın fazla olduğunu, bu da daha büyük yüzey akışın oluştuğunu ve dolayısıyla erozyona duyarlılığının da arttığını göstermektedir. Bu durumda düşük çatallanma oranı da, suyun daha düzenli akmasına ve daha az erozyon duyarlılığı olduğunu göstermektedir.

Ağırlıklı ortalama akarsu uzunluk oranı Çoruh Havzası için 2,54 bulunmuştur. Havza 4 için 2,39-2,90, Havza 6 için 2,11-3,32 ve Havza 9 için 2,32-3,29 aralığında değerleri değişim göstermektedir. Bu değişimin sebebi havzadaki eğim farklılıklarından kaynaklanmaktadır. R_{lwm} değerinin artması akışa geçen yüzey sularının arttığını göstermektedir. Dolayısıyla R_{lwm} arttıkça erozyon duyarlılığı da artmaktadır.

Tekstür oranı Çoruh Havzası geneli için 11,03 olarak hesaplanmıştır. Tekstür oranı değeri birinci derecedeki akarsu sayılarının çoğalması ile artış göstermektedir. Havza 4'de 5,87-22,21, Havza 6'da 3,25-19,84 ve Havza 9'da 4,66-19,45 aralığında tekstür oranları değişmektedir. Bölüm 4'de de ifade edildiği gibi tekstür oranının azalması havzanın uzunlamasına yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Havza 4, 6 ve 9 için bu duruma incelendiğinde Havza 9'un tekstür oranı değerinin küçük ve şeklinin uzun forma sahip olması bu bulguyu desteklemektedir.

Yüzeysel akış uzunluğu Çoruh Havzası geneli için 0,13 olarak hesaplanmıştır. L_o ortalama değerleri incelendiğinde Havza 4, 6 ve 9 için de 0,13 olduğu görülmüştür. Önceki bölümde de ifade edildiği üzere bu parametre yağışın akarsu kollarına karışmadan önce yol aldığı mesafeyi ifade etmektedir. Dolayısıyla bu değer ne kadar büyük olursa erozyon duyarlılığının artmasında da o kadar etkili olmaktadır. Bu değerlerin tümünün 0,20'den küçük olması düşük sınıfta yer aldığını ve erozyona duyarlılığının da fazla olduğunu göstermektedir.

Ortalama akarsu uzunluğu minimum değeri 0,38 ile Havza 9'da, maksimum değeri 0,50 ile Havza 6'da hesaplanmıştır. Çoruh Havzası geneli için ise 0,44 olarak bulunmuştur. En

yüksek değerin Havza 6'da olması bu havzada diğer iki havzaya göre yüzey akışın daha fazla ve sızmanın daha az olduğu anlamına gelmektedir. Dolayısıyla bu parametre dikkate alındığında erozyon duyarlılığı en yüksek havza olarak değerlendirilebilir.

Alansal morfometrik özellikler kapsamında drenaj yoğunluğu (D_d), akarsu sıklığı (F_s), infiltrasyon değeri (I_f), dairesellik oranı (R_c), uzunluk oranı (R_e), gravelius indeksi (K_g) ve form faktörü (R_f) incelenmiştir. Havza 4, 6 ve 9'a ait alansal morfometrik parametre değerlerinin temel istatistiksel büyüklükleri Çizelge 5.10 - Çizelge 5.12'de, tüm alt havzalara ait parametre değerleri ise EK-3 Çizelge 3.4 - Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.10. Havza 4'e ait alt havzaların alansal morfometrik parametrelerine ait istatistiksel verileri

Parametre Değeri	Drenaj Yoğunluğu	Akarsu Sıklığı	İnfiltrasyon Değeri	Dairesellik Oranı	Uzunluk Oranı	Gravelius İndeks	Form Faktörü
	D_d (1/km)	F_s (1/km^2)	I_f (-)	R_c (-)	R_e (-)	K_g (-)	F (-)
Minimum	3,56	8,50	31,97	0,40	0,54	1,22	0,23
	B12	B5	B12	B3	B3	B7	B3
Maksimum	4,24	9,34	37,92	0,67	0,96	1,58	0,84
	B3	B17	B17	B7	B6	B3	B6
Ortalama	3,88	8,89	34,50	0,51	0,70	1,41	0,47
Medyan	3,90	8,84	33,85	0,48	0,69	1,45	0,38
Basıklık	0,03	-0,85	-1,32	-0,73	1,25	-0,96	-0,47
Çarpıklık	-0,07	0,16	0,39	0,72	0,93	-0,42	0,97

Çizelge 5.11. Havza 6'ya ait alt havzaların alansal morfometrik parametrelerine ait istatistiksel verileri

Parametre Değeri	Drenaj Yoğunluğu	Akarsu Sıklığı	İnfiltrasyon Değeri	Dairesellik Oranı	Uzunluk Oranı	Gravelius İndeks	Form Faktörü
	D_d (1/km)	F_s (1/km^2)	I_f (-)	R_c (-)	R_e (-)	K_g (-)	F (-)
Minimum	3,48	7,97	28,37	0,16	0,42	1,51	0,14
	C15	C45	C45	C11	C11	C10	C11
Maksimum	4,46	9,76	40,93	0,44	0,97	2,51	0,89
	C2	C32	C32	C44	C61	C11	C35
Ortalama	3,83	8,63	33,14	0,30	0,68	1,86	0,42
Medyan	3,82	8,60	32,80	0,29	0,68	1,87	0,40
Basıklık	1,41	-0,12	0,83	0,32	0,32	1,84	1,03
Çarpıklık	1,00	0,40	0,91	0,42	0,12	0,62	0,89

Çizelge 5.12. Havza 9'a ait alt havzaların alansal morfometrik parametrelerine ait istatistiksel verileri

Parametre Değeri	Drenaj Yoğunluğu	Akarsu Sıklığı	İnfiltrasyon Değeri	Dairesellik Oranı	Uzunluk Oranı	Gravelius İndeks	Form Faktörü
	D_d (1/km)	F_s (1/km^2)	I_f (-)	R_c (-)	R_e (-)	K_g (-)	F (-)
Minimum	3,41	8,13	27,75	0,16	0,47	1,58	0,18
	A2	A2	A2	A12	A2	A8	A2
Maksimum	4,09	9,57	35,59	0,40	0,88	2,48	0,73
	A8	A9	A9	A8	A5	A12	A5
Ortalama	3,71	8,72	32,34	0,27	0,67	1,96	0,40
Medyan	3,72	8,66	32,25	0,27	0,65	1,93	0,36
Basıklık	1,76	1,29	0,53	-0,03	-0,68	0,09	-0,33
Çarpıklık	0,15	0,68	-0,45	0,27	0,37	0,60	0,83

Drenaj yoğunluğu değerinin Çoruh Havzası için 3,88 1/km olduğu, diğer tüm alt havzalar için 3,41-4,46 1/km aralığında değiştiği belirlenmiştir. Maksimum D_d değeri Havza 6'da, minimum değeri ise Havza 9'da hesaplanmıştır. Bu durum drenaj yoğunluğu ile yüzeysel akış uzunluğunun ters orantılı olduğunu doğrulamaktadır. Erozyon duyarlılığı açısından da oldukça önemli olan bu değerler havza eğiminin fazla, bitki örtüsünün seyrek olduğunu ifade etmektedir.

Çoruh Havzası geneli için akarsu sıklığı 8,80, Havza 4, 6 ve 9 için ise maksimum akarsu sıklık değerleri sırayla 9,34, 9,76 ve 9,57 olarak hesaplanmıştır. Akarsu sıklık değerinin artması, zeminin geçirgenliği ile ters orantılıdır. Bu üç havza kıyaslandığında Havza 6'nın bitki örtüsünün en yoğun, zemin geçirimliliğinin ise en az olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla akarsu sıklığı göz önüne alındığında taşkın potansiyeli ve erozyon duyarlılığı en fazla havza olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.10 ve Çizelge 5.12 incelendiğinde infiltrasyon değerinin maksimum 40,93 ile Havza 6'da, minimum 27,75 ile Havza 9'da olduğu görülmüştür. Çoruh Havzası geneli için ise 34,17 olarak tespit edilmiştir. İnfiltrasyon değeri, yüzeydeki akışın ne kadarının yeraltına sızdığını ifade ettiğinden erozyon duyarlılığı ile doğrudan ilişkilidir. Yüksek infiltrasyon değeri, geçirgen toprak yapısına sahip olunduğunu ifade ettiğinden erozyon duyarlılığının da düşük olduğunu götermektedir.

Dairesellik oranı değerleri ortalama olarak Havza 4 için 0,51, Havza 6 için 0,30 ve Havza 9 için ise 0,27 olarak bulunmuştur. Maksimum değer 0,67 ile 1'e en yakın Havza 4'de yer

almaktadır. Bu değer Havza 4'ün şeklinin daireye en yakın havza olduğunu göstermektedir. En düşük dairesellik oranı 0,15 ile Havza 9'da yer almaktadır. Bu durum havzanın uzun ve dar olduğunu, akış süresinin de daha fazla olduğunu göstermektedir. Akış süresinin daha fazla olması nedeniyle kaynaklı erozyon duyarlılığı ve taşkın potansiyeli de yüksek olabilmektedir.

Akarsu uzunluk oranı da dairesellik oranı ile benzerlikdir. Genelde 0-1 aralığında değişim göstermektedir. Çoruh Havzası geneli için 0,67, Havza 4, 6 ve 9 için sırası ile ortalama 0,87, 0,73 ve 0,62 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler büyüdükçe havzanın formunun daha yuvarlak ve eğimin de daha fazla olduğunu ifade etmektedir. 93 alt havza arasından minimum değerin 0,42 ile Havza 6'da bulunması, havzanın erozyon duyarlılığı açısından hassas olduğunu göstermektedir.

Gravelius değeri 1,22 ile en düşük Havza 4'de, 2,51 ile en yüksek Havza 6'da yer almaktadır. Çoruh Havzası geneli için ise 2,53 olarak tespit edilmiştir. Değerin artması engebeli arazilerin arttığını ve düzensiz şekillerden kaynaklı akış süresinin uzun sürdüğünü göstermektedir. Bu durum da erozyon açısından en duyarlı alt havzanın Havza 6 olduğunu ifade etmektedir.

Form faktörü, dairesellik oranı, akarsu uzunluk oranı ve gravelius değeri ile yakından ilgilidir. Bu parametrelerde olduğu gibi form faktöründe de yüksek değerler yuvarlak formu, düşük değerler uzun ve dar şekli temsil etmektedir. Havza 4,6 ve 9 için ortalama form faktörü değerleri sırasıyla 0,47, 0,42 ve 0,40 olarak bulunmuştur.

Rölyef morfometrik parametreler olarak çalışma kapsamında incelenen havza rölyefi (B_h), rölyef oranı (R_h), engebelilik değeri (R_n), havza eğimi (S) ve Melton engebelilik (MRn) değerleri Çizelge 5.13-Çizelge 5.15'de verilmiştir.

Havza rölyefi sonuçlarına bakıldığında Çoruh Havzası için değeri 3833 m ve Havza 4, 6 ve 9 için sırasıyla 3135 m, 2714 m ve 1696 m olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanı içerisinde en yüksek rakım Kuzey bölgesinde yer alan Havza 4'de tespit edilmiştir. Bu değere göre Havza 4'ün eğiminin fazla olması nedeniyle erozyon duyarlılığının da yüksek olması beklenmektedir.

Çizelge 5.13. Havza 4'e ait alt havzaların rölyef morfometrik parametrelerine ait istatistiksel verileri

Parametre Değeri	Havza Rölyefi	Rölyef Oranı	Engebelilik Değeri	Havza Eğimi	Melton Engebelilik Değeri
	B_h (m)	R_h (-)	R_n (-)	S (-)	MRn (-)
Minimum	1 132	0,10	4,35	0,27	0,14
	B18	B18	B18	B18	B14
Maksimum	2 806	0,21	11,06	0,58	0,32
	B7	B7	B7	B7	B3
Ortalama	2 028	0,15	7,88	0,40	0,23
Medyan	2 085	0,14	7,82	0,38	0,24
Basıklık	-0,44	0,18	-0,45	-0,63	-1,24
Çarpıklık	-0,12	0,61	0,05	0,68	-0,07

Çizelge 5.14. Havza 6'ya ait alt havzaların rölyef morfometrik parametrelerine ait istatistiksel verileri

Parametre Değeri	Havza Rölyefi	Rölyef Oranı	Engebelilik Değeri	Havza Eğimi	Melton Engebelilik Değeri
	B_h (m)	R_h (-)	R_n (-)	S (-)	MRn (-)
Minimum	782	0,05	2,97	0,05	0,09
	C44	C51	C44	C45	C61
Maksimum	2 331	0,32	10,31	0,50	0,53
	C19	C28	C2	C21	C18
Ortalama	1 507	0,13	5,81	0,32	0,20
Medyan	1 414	0,12	5,48	0,31	0,19
Basıklık	-0,33	2,15	0,21	-0,63	2,66
Çarpıklık	0,37	1,30	0,64	0,03	1,32

Çizelge 5.15. Havza 9'a ait alt havzaların rölyef morfometrik parametrelerine ait istatistiksel verileri

Parametre Değeri	Havza Rölyefi	Rölyef Oranı	Engebelilik Değeri	Havza Eğimi	Melton Engebelilik Değeri
	B_h (m)	R_h (-)	R_n (-)	S (-)	MRn (-)
Minimum	875	0,03	2,99	0,28	0,11
	A7	A11	A7	A8	A11
Maksimum	1 420	0,19	5,22	0,47	0,22
	A11	A8	A11	A9	A8
Ortalama	1 114	0,08	4,14	0,32	0,14
Medyan	1 119	0,07	4,23	0,31	0,14
Basıklık	-0,66	4,48	-1,20	4,17	32,40
Çarpıklık	0,14	1,81	-0,26	1,97	1,38

Çalışma kapsamında rölyef oranı değerleri alt havzalar için incelende minimum değer 0,03 ile Havza 9 - A11'de, 0,32 ile Havza 6 - C28'de yer almaktadır. En yüksek rölyef oranı değerine sahip havzanın sert eğimli bir yapıya sahip olduğu söylenebilir. Dolayısı ile erozyon duyarlılığı da yüksektir. Havza 9'un düşük rölyef oranı değerine sahip olması akarsu hızının yavaş ve havzanın yumuşak eğiminden kaynaklı sediment taşınımının da az olduğunu ifade ettiği söylenebilir.

Engebelilik değeri, drenaj yoğunluğu sonuçları ile doğrudan ilişkilidir. Genel olarak Çoruh Havzası için 14,88 olarak hesaplanmıştır. 93 alt havzanın engebelilik değerleri incelendiğinde ise en yüksek 11,06 ile Havza 4 – B7'de, en düşük 2,97 ile Havza 6 – C44'te olduğu tespit edilmiştir. Ancak ortalama engebelilik değerlerine bakarak havzaları değerlendirmek daha doğru bir yaklaşımdır. Bu yüzden Havza 4, 6 ve 9'daki alt havzaların engebelilik değerleri ortalamaları sırasıyla 7,88, 5,81 ve 4,14 olarak hesaplanmıştır. Engebelilik değerinin artması ile havzanın oldukça engebeli, erozyon potansiyeli ve eğimin fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

Havzanın eğimleri çalışma kapsamında incelendiğinde, Ek-3 Çizelge 3.7-Çizelge 3.9'da görüldüğü üzere yükseklikle ilgili diğer morfometrik parametrelerden havza rölyefi, rölyef oranı ve engebelilik değeri ile doğrudan benzerlik göstermektedir. Çoruh Havzası geneli için eğim 0,35 olarak bulunmuştur. Havza 4, 6 ve 9 için ise ortalama eğimler sırasıyla 0,40, 0,31 ve 0,30 olarak belirlenmiştir. 93 alt havza arasından en yüksek eğime sahip olan alt havza ise B7'dir. Eğim arttıkça yüzeysel akış hızı artmakta ve buna bağlı olarak erozyon duyarlılığı da artış göstermektedir. Havza 4 için havza rölyefi, rölyef oranı ve engebelilik değeri parametrelerinin maksimum değerleri de aynı alt havza da B7'de çıkmıştır. Bu durum rölyef parametreleri arasında tutarlılığı da ifade etmektedir.

Melton engebelilik değeri sonuçları incelediğinde Çoruh Havzası için 0,03 olarak hesaplanmıştır. Alt havzaların ortalama değerlerine bakıldığında ise Havza 4 için 0,23, Havza 6 için 0,20, Havza 9 için 0,14 olduğu belirlenmiştir. MRn değerinin artması havzanın dik eğime sahip olduğunu ve rüsubatın fazla olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla MRn değeri göz önüne alındığında Havza 4'ün erozyon duyarlılığının yüksek olduğu sonucuna varılabilir.

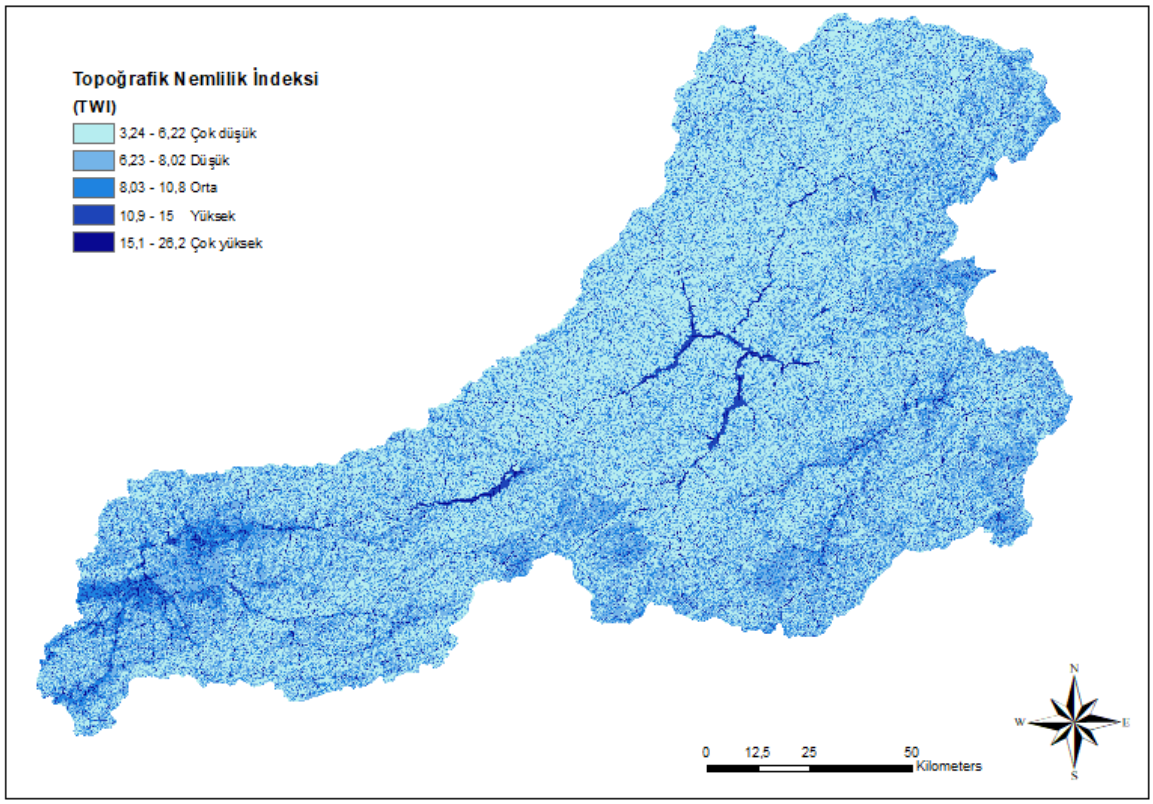
5.2. Jeolojik-Hidrolojik Parametrelerin Erozyon Duyarlılığına Etkisinin Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında jeolojik-hidrolojik parametre değerleri Bölüm 4.5'te belirtildiği şekilde ArcGIS 10.8 ortamında her bir piksel için ayrı ayrı hesaplama yapılmış, topoğrafik özelliklere bağlı olarak değişen değerler üretilmiştir. Bu veriler raster veri formatında oluşturulmuş ve her bir parametre için tüm çalışma alanı haritalanmıştır. Ayrıca, analiz edilen verilerin genel karakteristiklerini ortaya koymak amacıyla, her bir parametrenin maksimum değerleri alınarak çalışma alanının farklı bölgelerinde bu parametrelerin nasıl değiştiği değerlendirilmiştir.

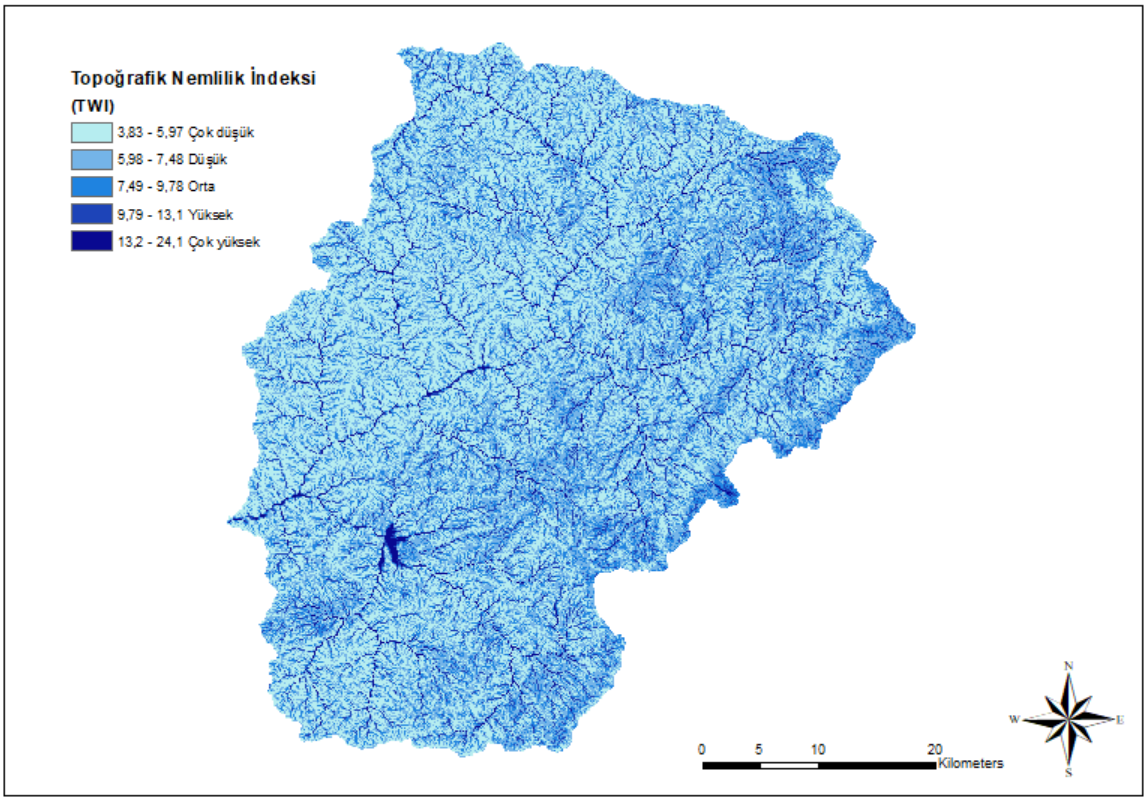
5.2.1. Topoğrafik nemlilik indeksi (TWI)

Genellikle eğimin fazla olduğu yerlerde yüksek değerler alan topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) Çoruh Havzası'nın geneli için 3,24-26,2 aralığında hesaplanmıştır. Harita 5.2 - Harita 5.5'de görüldüğü üzere koyu mavi ile gösterilmiş olan çok yüksek TWI değerleri suya en doygun alanları ifade etmektedir. Bu bölgelerde yüzey akışı fazla olduğu için erozyon duyarlılığının da fazla olduğu söylenebilir. TWI'nın orta değerdeki alanları ise tarım için en uygun bölgeler olarak sınıflandırılabilmektedir.

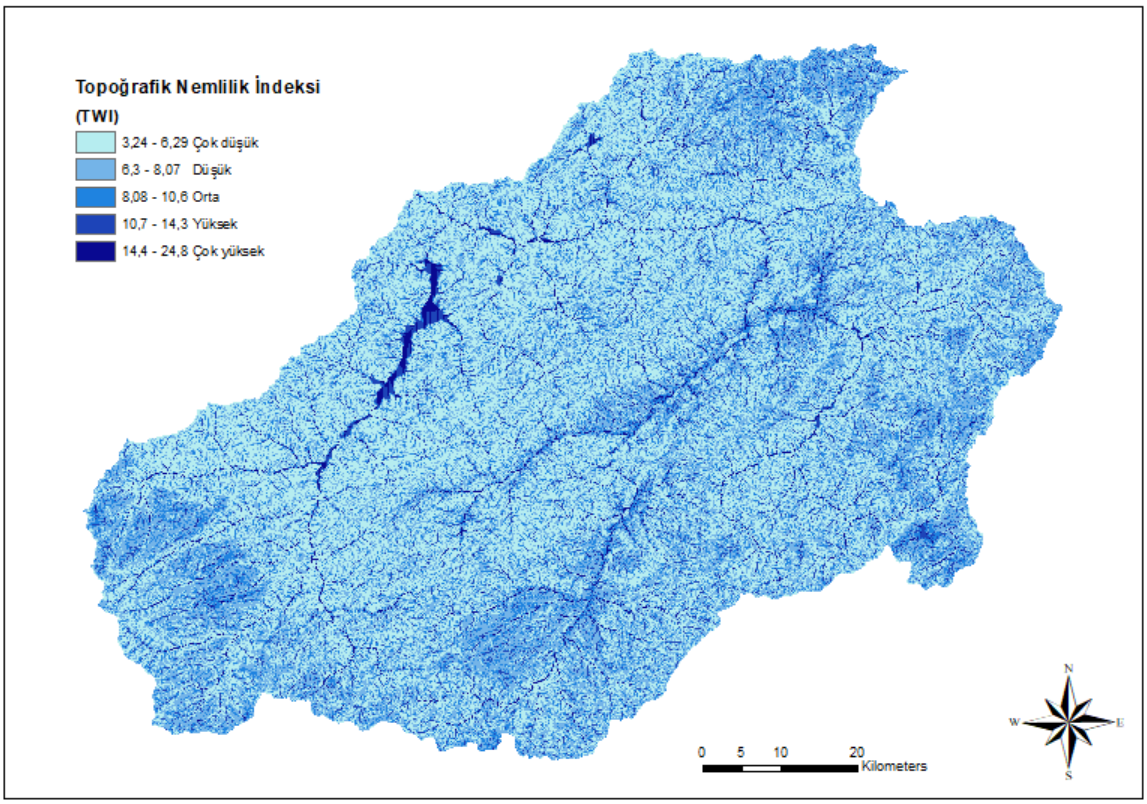
TWI değerleri çalışma kapsamında incelendiğinde en düşük değer 14,12 ile Havza 6 - C28'de yer almaktadır. En büyük değer incelendiğinde Havza 4, 6 ve 9 için sırasıyla 24,07, 24,84 ve 23,85 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler B4, C9 ve A11 alt havzalarında bulunmaktadır.



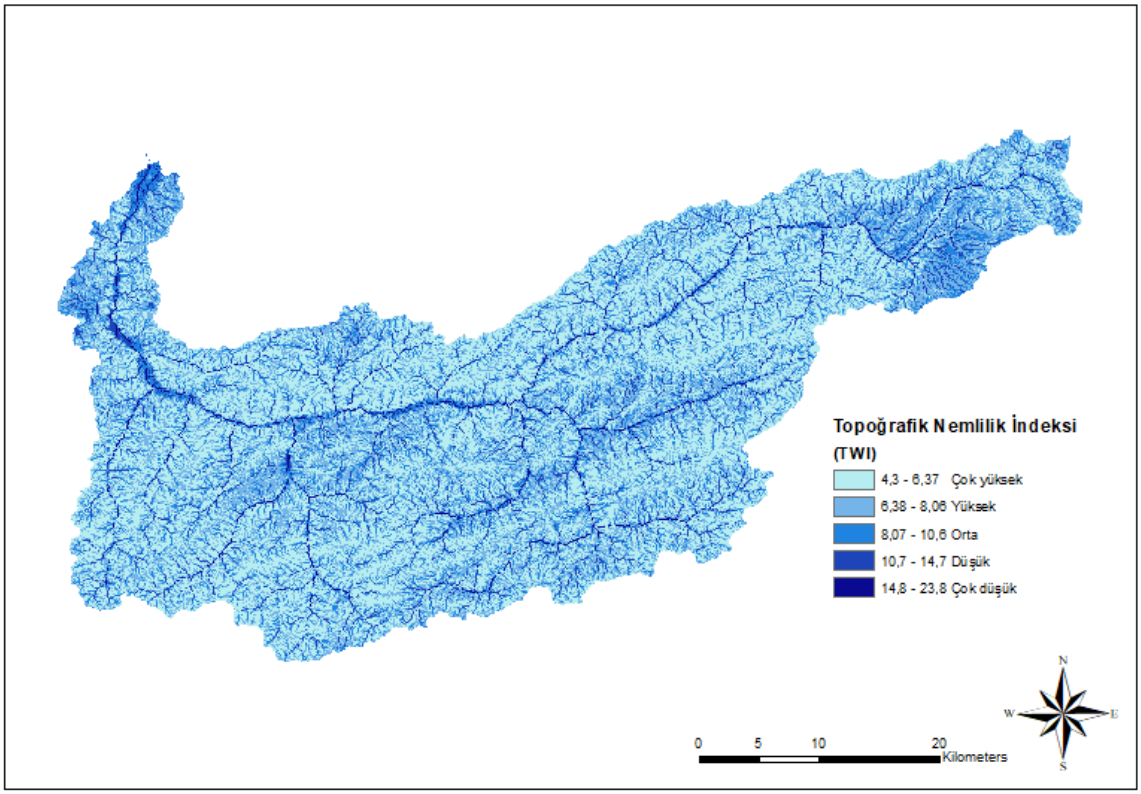
Harita 5.2. Çoruh Havzası'na ait TWI haritası



Harita 5.3. Havza 4'e ait TWI haritası



Harita 5.4. Havza 6'ya ait TWI haritası

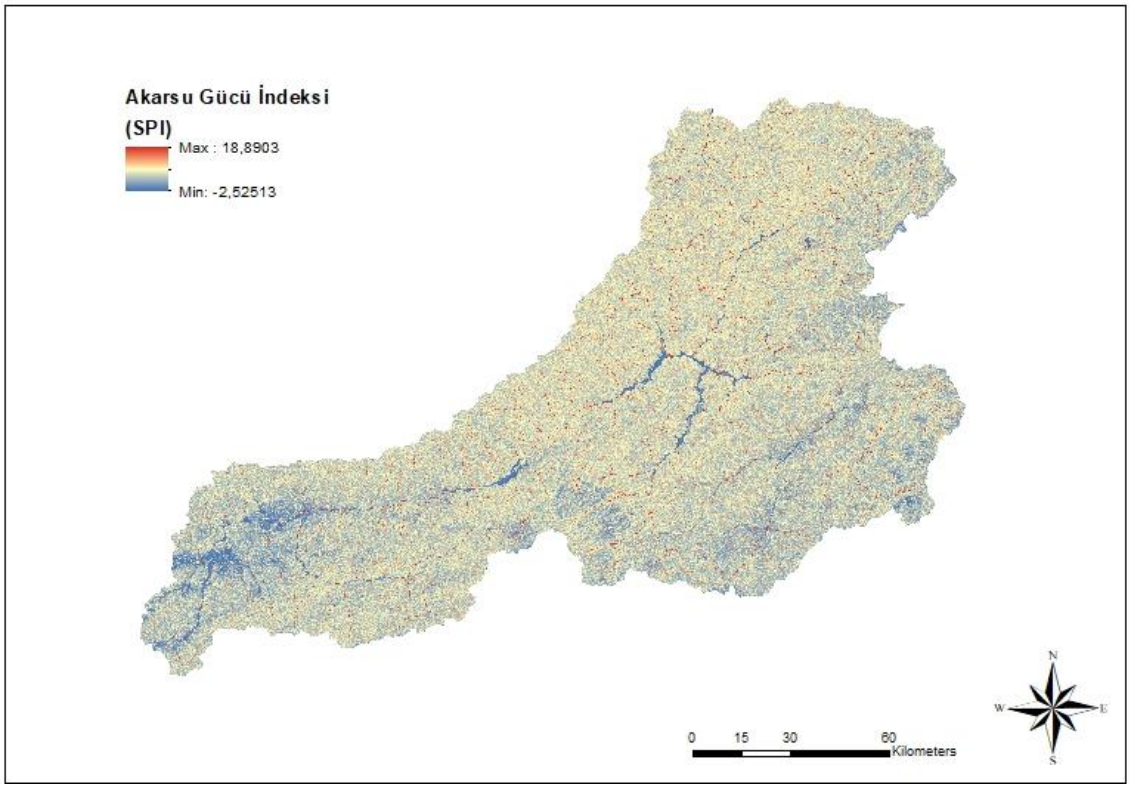


Harita 5.5. Havza 9'a ait TWI haritası

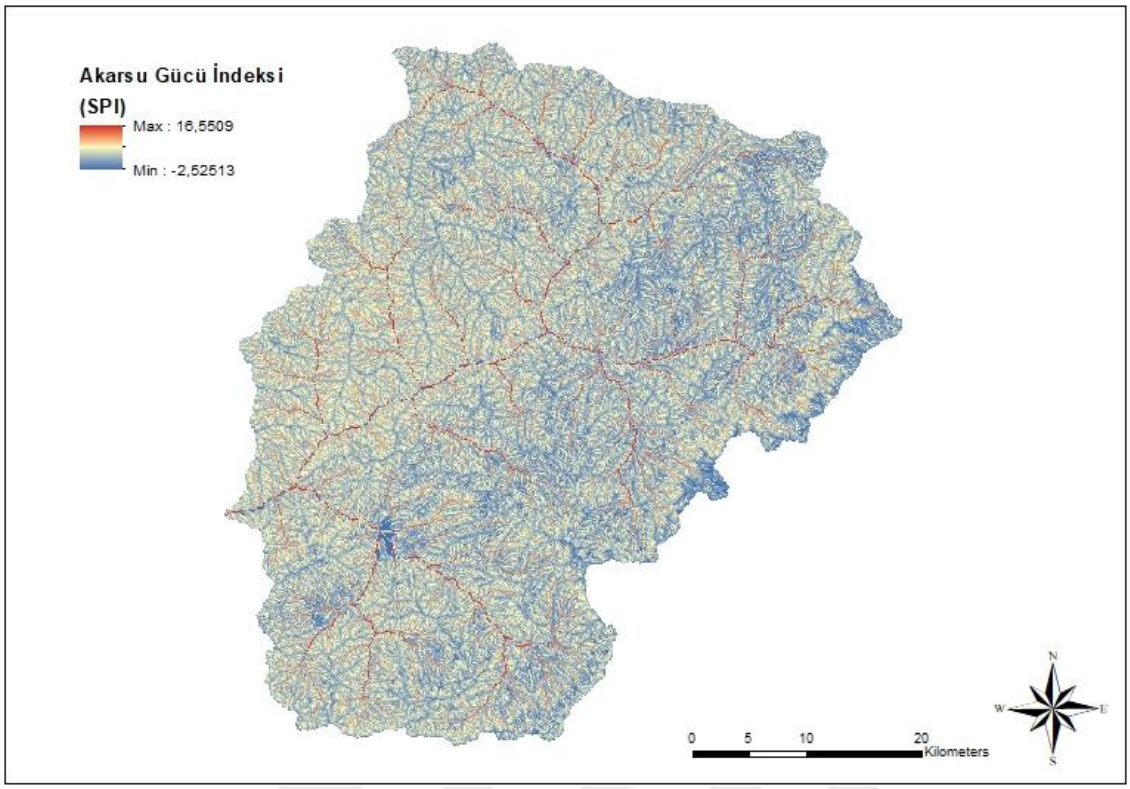
5.2.2. Akarsu gücü indeksi (SPI)

Çalışma alanına ait akarsu gücü indeksi tematik haritaları Harita 5.6 - Harita 5.9'da gösterilmiştir. Eş. 4.2'de verilmiş olan SPI formülü incelendiğinde parametrenin yükselmesi için iki kriterden birincisinin eğim artışı, diğerinin ise drenaj alanının genişlemesi olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak yüksek SPI değerleri dik yamaçları temsil ettiğinden bu alanlarda aşındırma ve erozyon gibi olaylara yatkınlık daha fazla görülmektedir.

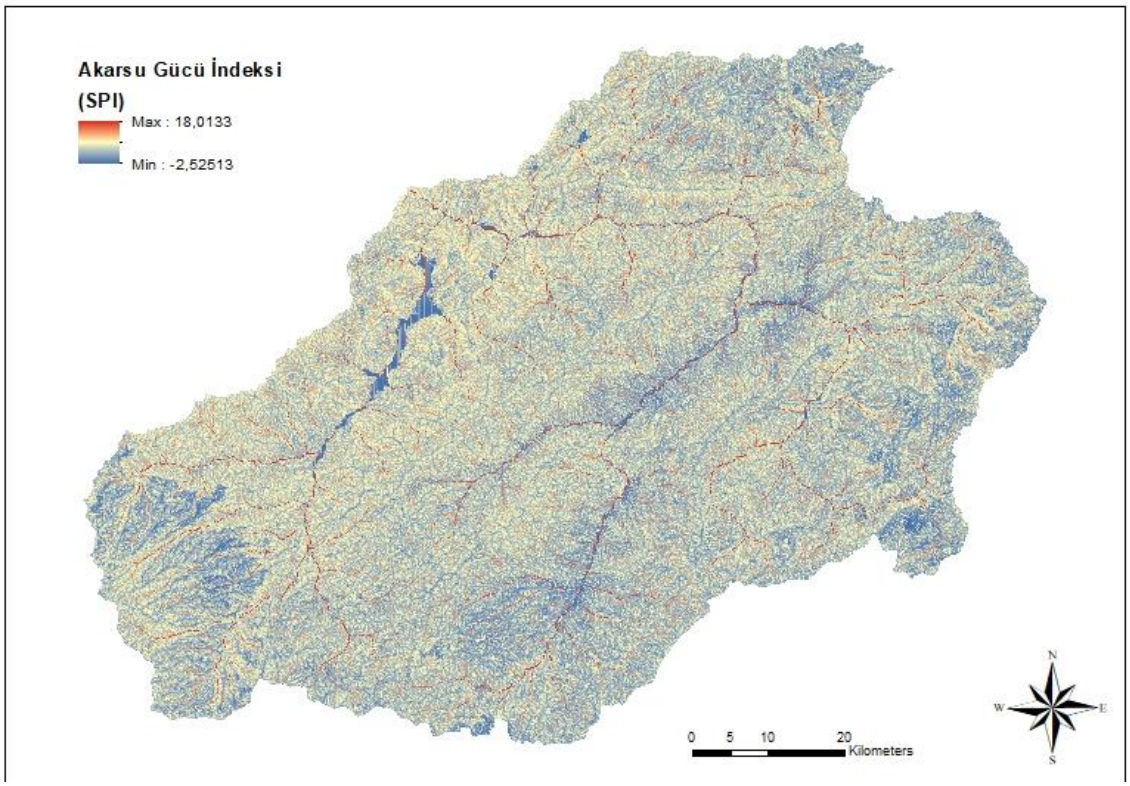
SPI değerleri çalışma kapsamında incelendiğinde en düşük değer 10,16 ile Havza 6 - C28'de yer almaktadır. En büyük değerler incelendiğinde Havza 4, 6 ve 9 için sırasıyla 14,32 ile B14'de, 14,82 ile C40'da ve 14,49 ile A11'de bulunduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla en büyük değerin Havza 6'da yer alması eğimin fazla ve erozyon duyarlılığının da yüksek olabileceğini göstermektedir.



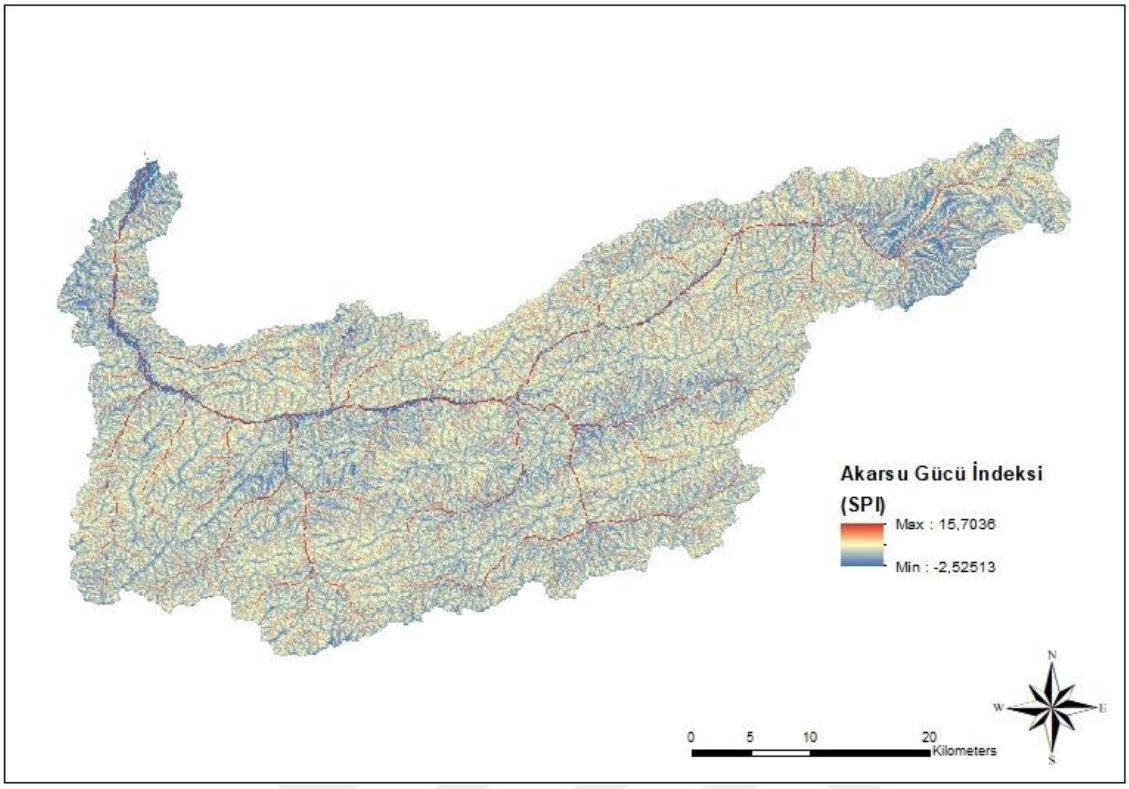
Harita 5.6. Çoruh Havzası'na ait SPI haritası



Harita 5.7. Havza 4'e ait SPI haritası



Harita 5.8. Havza 6'ya ait SPI haritası

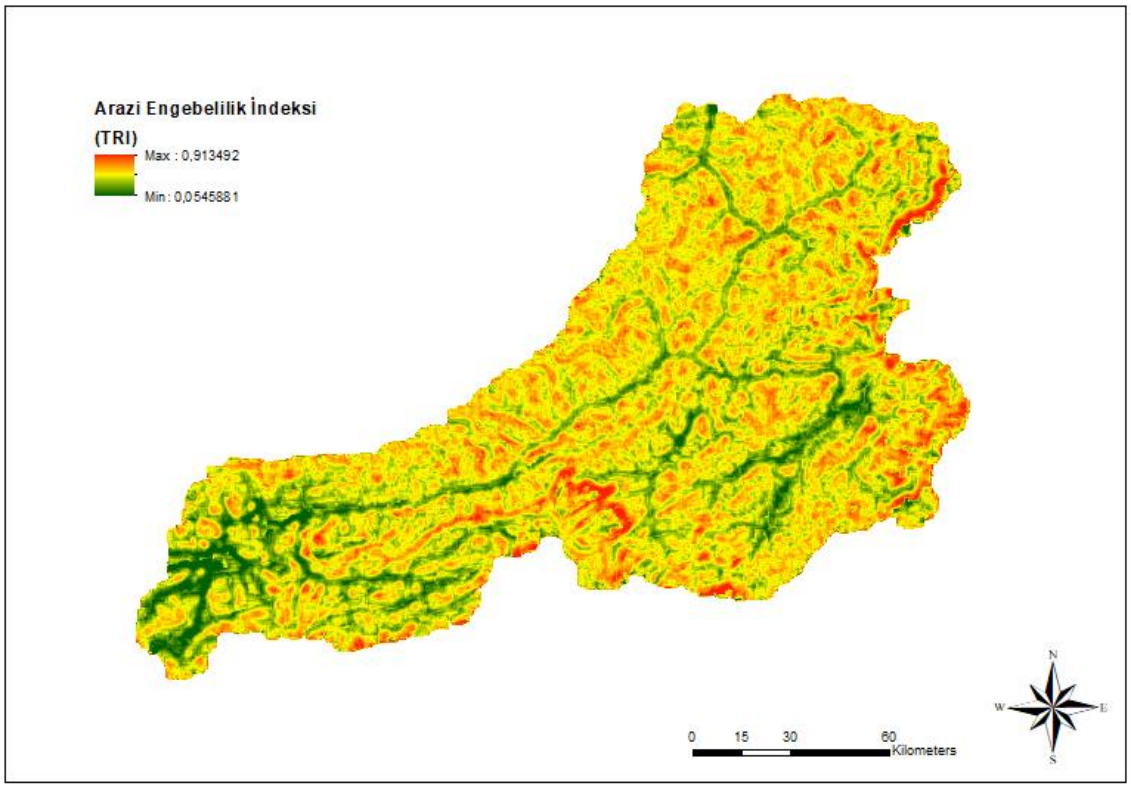


Harita 5.9. Havza 9'a ait SPI haritası

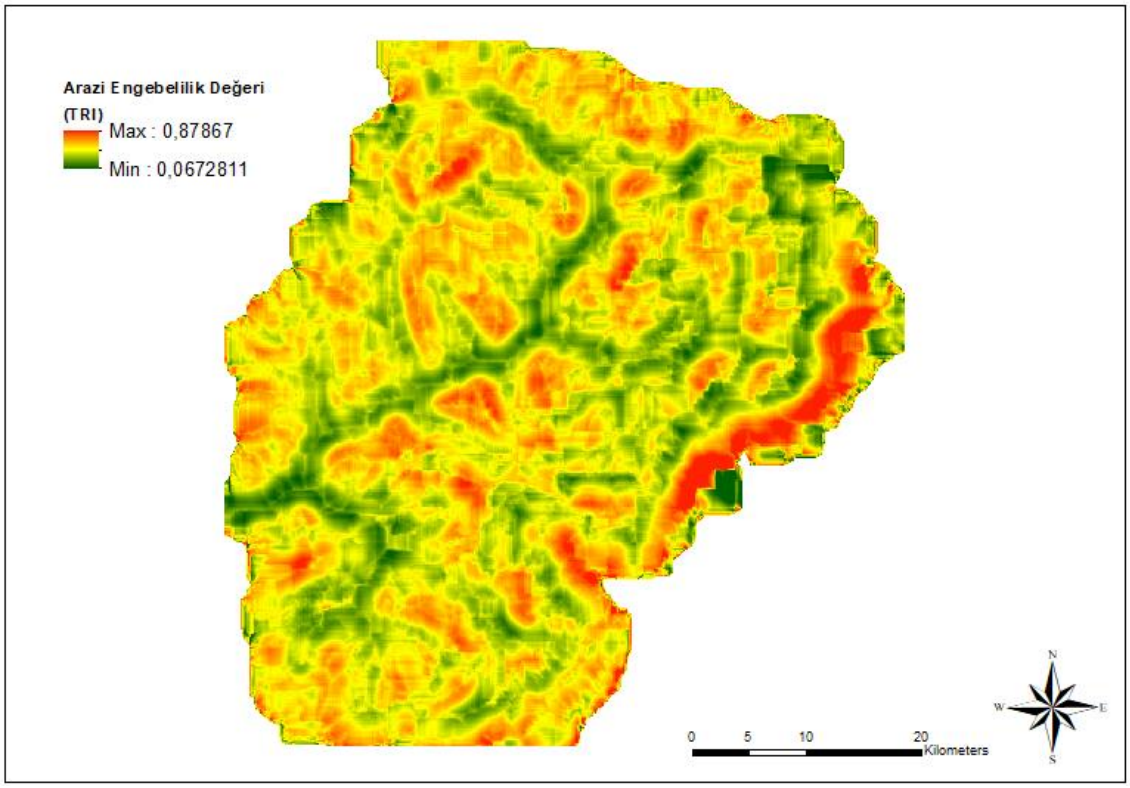
5.2.3. Arazi engebelilik indeksi (TRI)

Arazi engebelilik değeri (TRI) tematik haritaları Harita 5.10-Harita 5.13'de verilmiştir. Çoruh Havzası'nın geneline bakıldığında batı kesiminde arazinin daha düz bölgelere sahip olduğu görülmektedir. Havza 4'te doğu kesimlerinde, Havza 6 ve 9'da dış kesimlere doğru TRI değerinin yükselmesiyle beraber engebeliliğin arttığı tespit edilmiştir. Yüksek TRI akışın fazla olduğunu, dolayısıyla erozyon duyarlılığının yüksek olduğunu ifade ederken düşük TRI ise akışın düşük olması nedeniyle sediment birikiminin yüksek olabileceğini göstermektedir.

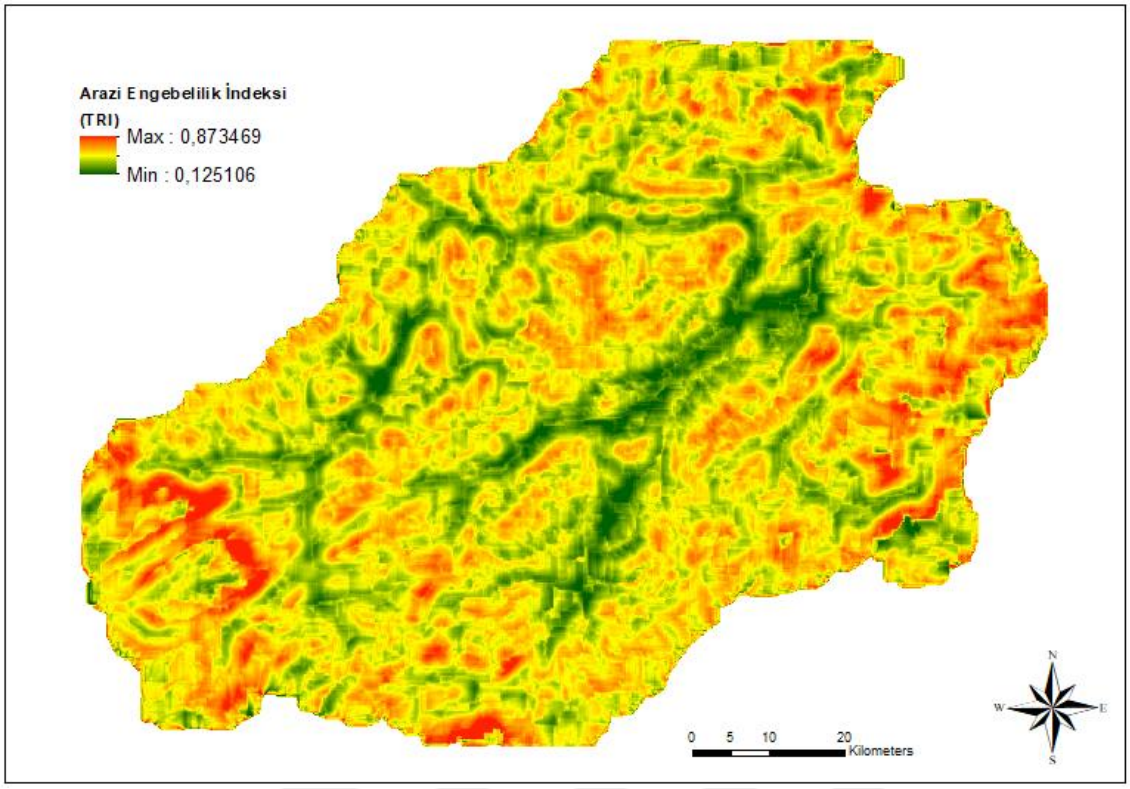
TRI değerleri çalışma kapsamında incelendiğinde en yüksek değer 0,86 ile Havza 6 – C12'de yer almaktadır. En küçük değerler incelendiğinde Havza 4 ve 9'da 0,64 olarak aynı hesaplanmış ve en küçük değer 0,56 olarak Havza 6 - C44 alt havzasında yer aldığı tespit edilmiştir.



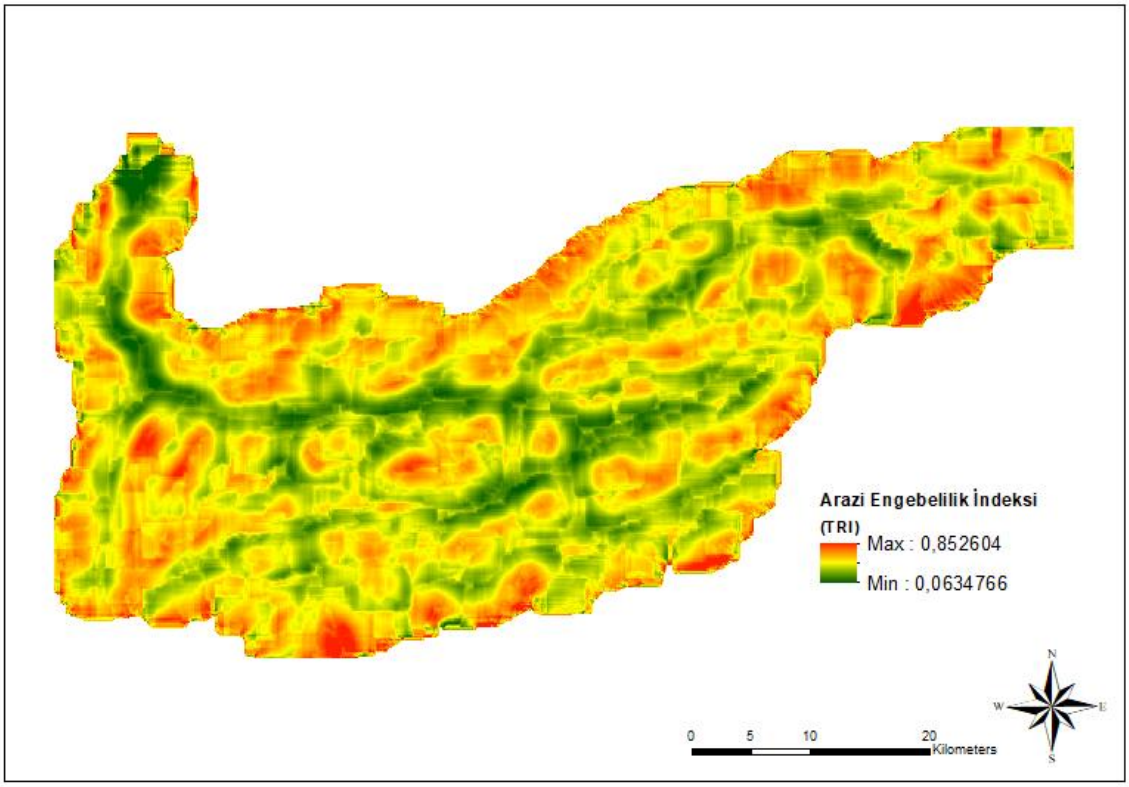
Harita 5.10. Çoruh Havzası'na ait TRI haritası



Harita 5.11. Havza 4'e ait TRI haritası



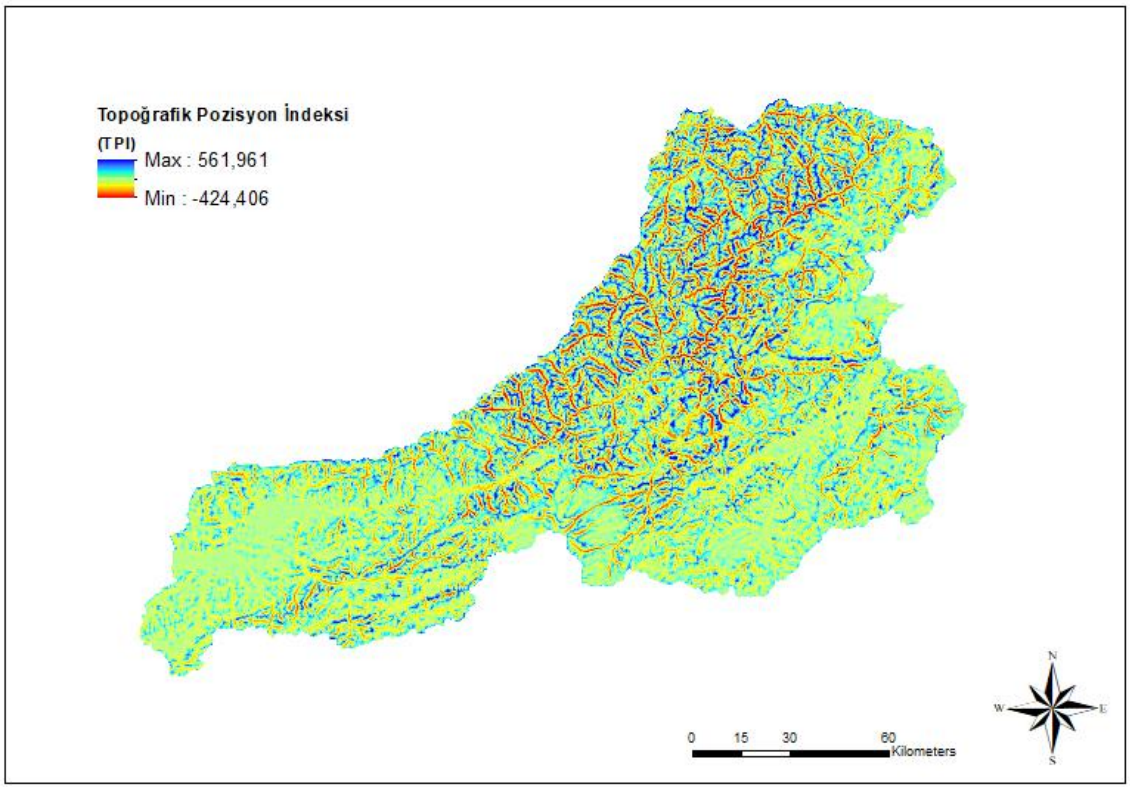
Harita 5.12. Havza 6'ya ait TRI haritası



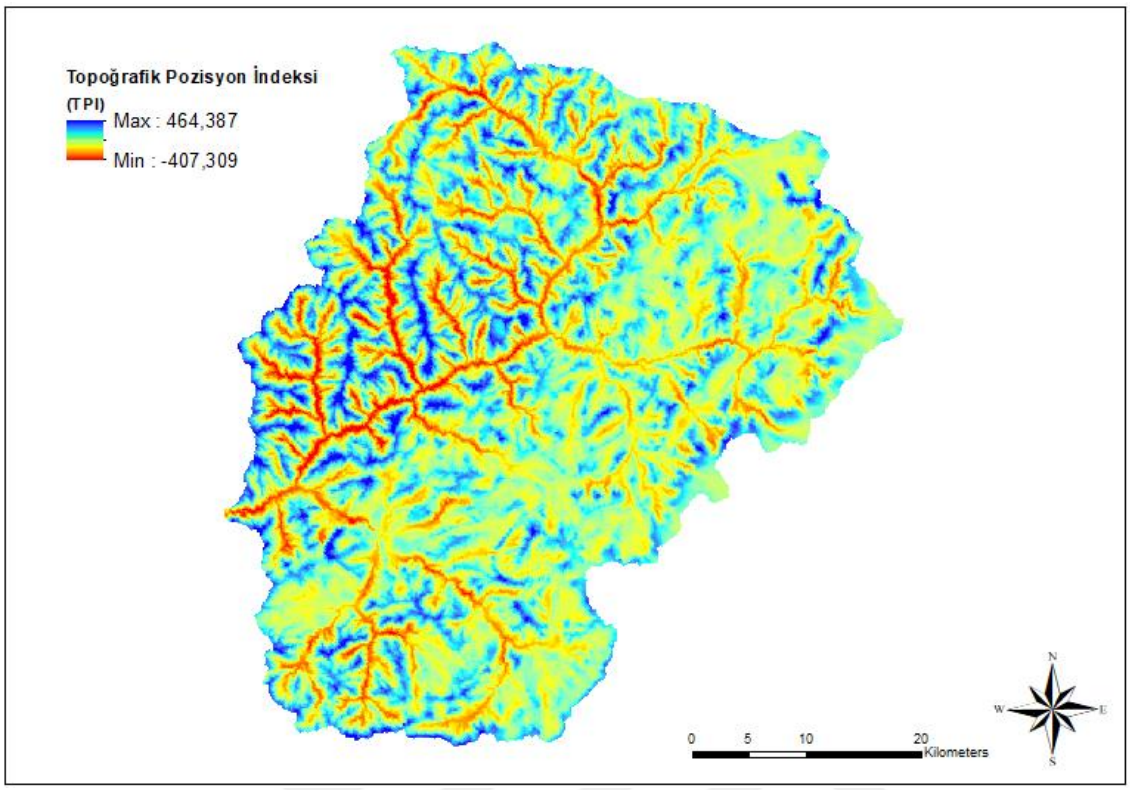
Harita 5.13. Havza 9'a ait TRI haritası

5.2.4. Topoğrafik pozisyon indeksi (TPI)

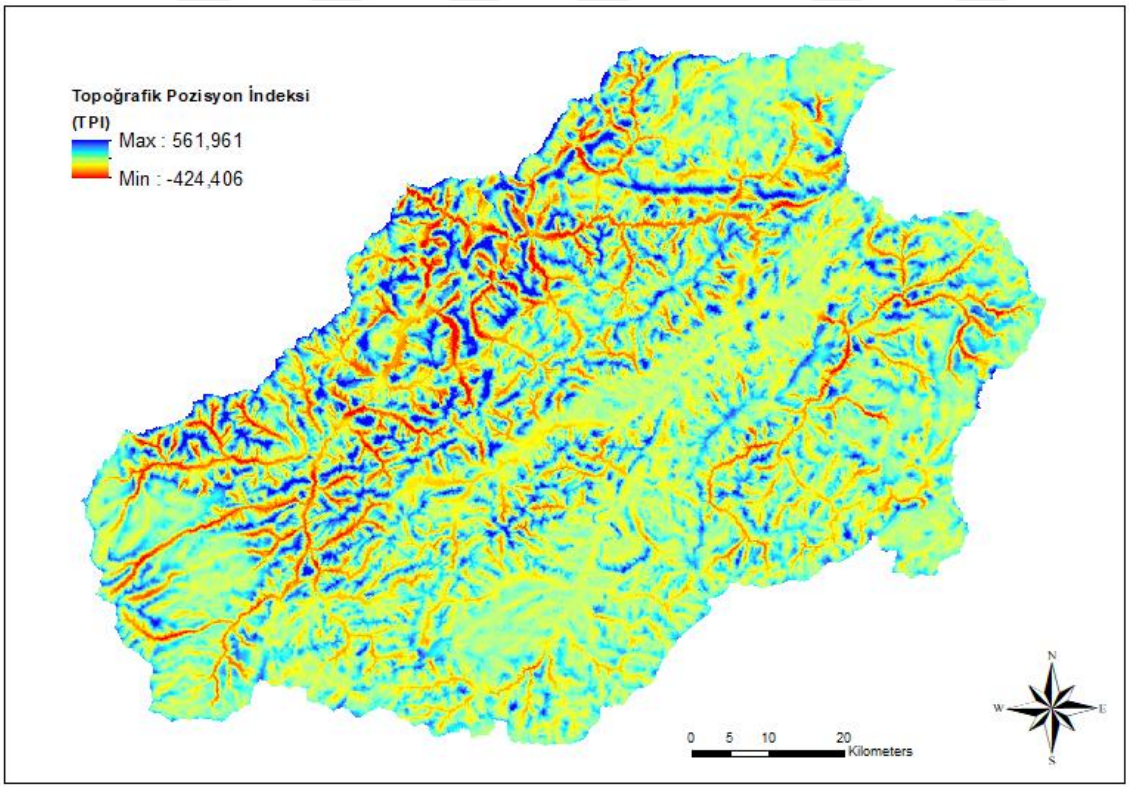
Harita 5.14-Harita 5.17'de verilmiş olan Topoğrafik pozisyon indeksi (TPI) tematik haritaları incelendiğinde Çoruh Havzası'nın genelinin -424,4 ile 561,9 aralığında değiştiği görülmektedir. Eş. 4.4'te belirtildiği üzere TPI'nın pozitif değeri sırt veya tepeleri, negatif değerleri ise vadi veya kanyonu ifade etmektedir. Havza 6'nın değerleri de genel Çoruh Havzası'nın değerleriyle benzerlik göstermektedir. Geniş TPI aralığına sahip Havza 6 için eğimin yüksek olduğu diğer havzalara göre vadi ve kanyon oranının fazla olduğu söylenebilir. Havza 4'ün değerlerinin -407,3 ile 464,4 aralığında olması ise Havza 6 ve 9'a göre orta eğimli, Havza 9'un ise -265,3 ile 377,9 aralığında olması Havza 4 ve 6'ya göre daha düz yapıda, eğimin az olduğunu ifade etmektedir.



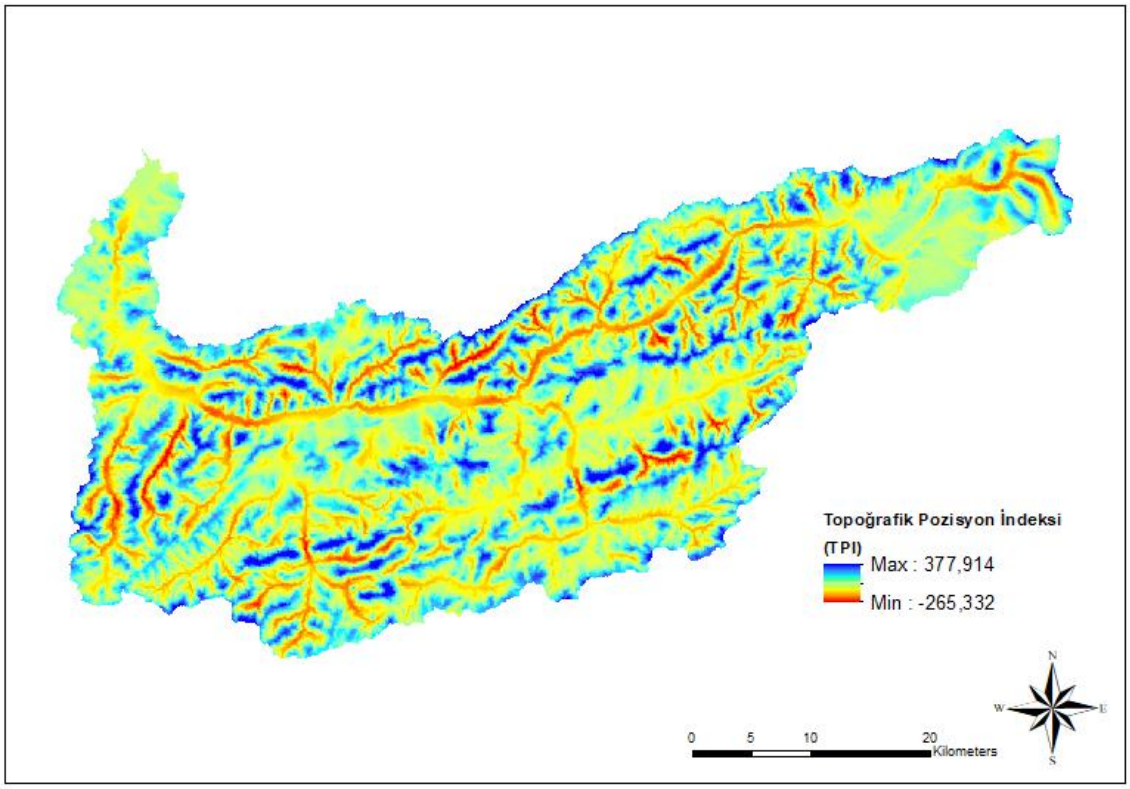
Harita 5.14. Çoruh Havzası'na ait TPI haritası



Harita 5.15. Havza 4'e ait TPI haritası



Harita 5.16. Havza 6'ya ait TPI haritası



Harita 5.17. Havza 9'a ait TPI haritası

5.3. Havzaların Morfometrik Parametrelere Göre Erozyon Duyarlılıklarının Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında Çoruh Havzası'nda yer alan Havza 4, Havza 6 ve Havza 9'un erozyona duyarlılıkların birbiriyle karşılaştırmalarını sağlamak amacıyla alt havzalara ayrılmaksızın fiziksel özellikleri ve morfometrik parametreleri hesaplanmıştır. Çizelge 5.16'da Çoruh Havzası geneli ile Havza 4, Havza 6 ve Havza 9'a ait temel fiziksel büyüklükleri verilmiştir. Çizelgedeki fiziksel özellikler incelendiğinde Havza 4'ün en yüksek (H_{max} = 3 357 m) ve en alçak (H_{min}=222 m) yükseklik değerlerine sahip olduğu ancak havza genelinde Havza 6 ve Havza 9'la kıyaslandığında en küçük yükseklik ortalamasına (H_{ort}=1 741,99 m) sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca diğer iki havzaya kıyasla havza uzunluğunun yarısından dahi kısa olduğu (L_b= 32 947,75 m), aynı şekilde havza çevresinin de en küçük değere (P = 309,52 km) sahip olduğu görülmektedir. Yani Havza 4, Havza 6 ve Havza 9'a kıyasla daha dairesel ve yükseklik değişimlerinin fazla olduğu bir havzadır. Bu durumda Havza 4'ü erozyona daha duyarlı bir hale getirmektedir. Her üç havzadaki farklı mertebelerdeki akarsu sayıları ile uzunlukları sırasıyla Çizelge 5.17-Çizelge 5.18'de verilmiştir. Havzalardaki akarsu sayıları ve uzunlukları incelendiğinde Havza 4'ün 8. mertebeden akarsuya sahip olduğu ve Havza

6'dan sonra en çok akarsu sayısı ile en uzun toplam akarsu uzunluğuna sahip olduğu görülmektedir. Bu durum Havza 4'e düşen yağış hızlı bir şekilde akışa geçtiğini ifade etmektedir. Bu nedenlerle Havza 4'ün temel özellikleri incelendiğinde Havza 6 ve Havza 9'a göre yükseklik değişimlerinin ve yüzey akışının daha büyük, dolayısıyla erozyon duyarlılığının da daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Çoruh Havzası geneli ile Havza 4, 6 ve 9'un çizgisel, alansal ve rölyef morfometrik parametreleri sırasıyla Çizelge 5.19-Çizelge 5.21'de verilmiştir.

Her üç havzanın çizgisel morformetrik parametreleri incelendiğinde en büyük R_{bwm} değeri Havza 6 için 4,79 bulunmuş, Havza 4 ve 9 için ise 4,78 ve 4,77 hesaplanmıştır. Değerler birbirine çok yakın olmakla birlikte ve R_{bwm}'nin yüksek olması dallanmanın yani daha büyük yüzey akışının olduğunu göstermektedir. R_{lwm} değeri en büyük havza, Havza 4'tür (R_{lwm}=2,54). Bu değer de akışa geçen yüzey sularının Havza 4'te en fazla, Havza 9'da ise en az (R_{lwm}=2,51) olduğunu ifade etmektedir. Tekstür oranı en düşük ve en yüksek havzalar sırasıyla Havza 9 (T=32,24) ve Havza 6 (T=82,91)'dır. Düşük tekstür oranı havzanın uzunlamasına bir yapıda olduğunu, dolayısıyla toplanma süresinin uzun olması nedeniyle taşkın potansiyeli ve erozyon duyarlılığı da daha az olmaktadır. Yüzeysel akış uzunluğu L_0 düşünüldüğünde her üç havza içinde bu parametre değerinin düşük sınıfta (<0,20) olduğu görülmüştür. L_0'ın düşük olması ise daha az yüzeysel akış ve daha fazla sızma anlamına gelmektedir. Ortalama akarsu uzunluğu L_{um} değerlerine bakıldığında küçükten büyüğe doğru Havza 9, 4 ve 6 olarak sıralanmaktadır. Farklı mertebelerdeki akarsu uzunluklarının toplamları incelendiğinde Havza 6'nın Havza 4 ve 9'a göre yaklaşık dört katı büyük değere sahip olduğu görülmektedir. Ancak aynı doğrultuda farklı mertebelerdeki toplam akarsu sayıları da artış göstermektedir. Dolayısıyla L_{um} değerleri birbiriyle çok yakın çıkmaktadır.

Havzadaki sızmayı toprak yapısı, bitki örtüsü ve eğim etkilemektedir. Her ne kadar her üç havzanın L_0 değerleri düşük olsa da Havza 4 ve Havza 6'da toprak yapısı ile ormanların varlığı, Havza 9'da ise eğim sızmayı artırmaktadır.

Havzalar alansal morfometrik parametrelerine göre incelendiğinde D_d en fazla olan havza Havza 4 (D_d=3,88) ve en düşük olan ise Havza 9 (D_d=3,73) olduğu görülmüştür. Buna göre Havza 4'te yoğun bitki örtüsü (ormanlar) ve geçirgen toprak yapısı (çoğunlukla kahverengi orman toprakları) nedeniyle havza da drenaj yoğunluğu yüksek olmakta böylece sızma miktarı yüksek, yüzeysel akış da düşük olmaktadır. Çizelge 5.16'da L'nin Havza 4 için en

düşük değerde olması (L=85 849,24 m) da bunu kanıtlamaktadır. Havza 9'da ise tam ters bir durum söz konusudur. Düşük D_d değeri Havza 9'un göreceli olarak daha seyrek ormana ve daha fazla tarım alanlarına sahip olması, toprağının ise çoğunlukla kestanerengi ve kahverengi toprak olması ile açıklanabilmektedir.

Akarsu sıklığı F_s açısından en büyük değer Havza 4'e (F_s=8,82), en küçük değer ise Havza 6'ya (F_s=8,59) ait olup her üç havza da çok yüksek sınıfta (4,5 ve üstü) yer almaktadır. Buna göre yüzeysel akışın daha fazla sızmanın ise daha az olduğunu göstermektedir. Böylece her üç havzada da taşkın potansiyeli ile erozyon duyarlılığı yüksektir. Havzaların If değerleri incelendiğinde en büyük değer (I_f =34,25) Havza 4'te, en küçük değer ise (I_f =32,55) Havza 9'da hesaplanmıştır. I_f'nin büyük olması yüzeysel akışın düşük, sızmanın ise yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum yüzey akışın en çok Havza 4'te toprağa sızdığını göstermektedir. Yani geçirgen toprak yapısı söz konusudur. Bu parametre göz önüne alındığında Havza 9 göreceli olarak erozyona en duyarlı havza olmaktadır. R_c, R_e, K_g ve F ise havzanın şekli ile ilgili morfometrik parametrelerdir. Bu parametrelere göre en büyük R_c=0,30, R_e=0,87 ve F=2,10 değerleri ile en küçük K_g=1,83 değeri Havza 4'te hesaplanmıştır. Buna göre Havza 4 küçük dairesellik oranı ile yavaş yüzeysel akışı ve genç evrede havza kollarının varlığını göstermektedir. R_e=0,87 olması ise havzanın dairesele yakın (R_e>0,9) olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde Havza 6'da R_e=0,73 ve Havza 9'da R_e=0,62 değeri ile uzun havza olarak sınıflandırılmaktadır. Bu durumda R_e değerlerinin Havza 4 ve 6'da büyük olması nedeniyle erozyon duyarlılığı küçüktür.

En düşük K_g değerine sahip havza 1,83 ile Havza 4, en yüksek değere sahip havza ise 2,58 ile Havza 9'dur. Bu da Havza 4'ün Havza 6 ve 9'a göre daha düzenli ve yuvarlak bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla 1'den büyük değerleri ile havzaların yüksek erozyon duyarlılığına sahip olduklarını ifade etmektedir. Havzanın şekli ile ilgili olan form faktörü R_f incelendiğinde ise yine Havza 4'ün en dairesel havza (F=2,10) olduğu sırasıyla hızlı bir yüzeysel akış ve kısa toplanma süresi ile eorzyon duyarlılığının üç havza içerisinde en yüksek oldduğunu göstermektedir. Rölyef yani yükseklikle ilgili parametreler incelendiğinde Çizelge 5.21'de verilen büyüklüklere göre havza rölyefi Bh en büyük olan Havza 4 (B_h=3,135) en küçük olan ise Havza 9'dur (B_h=1,696). Bu nedenle Havza 4 en dik eğimlere dolayısıyla en düşük akım toplanma sürelerine sahiptir. Böylece yüksek yüzey akışı ile erozyon duyarlılığı da en yüksek olan havzadır. Havza 4'te en yüksek rakım Kuzey bölgesinde yer almaktadır. Rölyef oranı Rh en büyük havza Havza 4 (R_h=0,10), en düşüğü

ise Havza 9'dur (R_h=0,02). Böylece üç havza içerisinde Rh değerine göre erozyon duyarlılığı en fazla olan havza Havza 4, en düşük olan ise Havza 9'dur. Benzer şekilde R_n ve S değerleri en büyük olan havza Havza 4'tür. Yani Havza 4'teki topoğrafik yapı ve eğim nedeniyle yüzeysel akış hızlanmakta erozyon duyarlılığı da artmaktadır. MRn değeri 0,09 ile Havza 9'da en büyük, 0,03 değeri ile Havza 6'da en küçüktür. MRn değerinin sedimentinin daha fazla olduğunu göstermektedir.

Havzalar jeolojik-hidrolojik parametrelerine göre incelendiğinde TWI en fazla olan havza Havza 6 (TWI=24,84) ve en düşük olan ise Havza 9 (TWI=23,85) olduğu görülmüştür (Çizelge 5.22). Bu da en yüksek TWI değerine sahip Havza 6'nın suyu daha fazla biriktirme potansiyeline ve daha geniş vadilere sahip olduğu göstemektedir. Suya bağlı olarak erozyon duyarlılığıda artmaktadır. SPI değerleri Havza 4, 6 ve 9 için sırasıyla 16,55, 18,01 ve 15,70 olarak hesaplanmıştır. Bu üç havza içerisinde akışın fazla ve erozyon duyarlılığının en fazla olduğu havza Havza 6'dır. En düşük değere sahip olan havza 9 düşük eğim, daha az yüzey akışı ve sızma yüksek olabilir. TRI değerleri incelendiğinde ise en küçük değere sahip olan havza Havza 9'dur (TRI=0,85). Bu havzanın engebeliliği daha az ve daha düşük eğime sahiptir. Dolayısıyla bu değer Havza 9'un su tutma kapasitesinin daha fazla ve erozyon duyarlılığının daha az olduğunu göstermektedir. En büyük değere sahip olan Havza 4'ün (TRI=0,88) ise erozyon duyarlılığı ve eğim yüksektir. Topoğrafik pozisyon indeksi (TPI) değerleri incelendiğinde Çoruh Havzası'nın genel en yüksek değeri (TPI=561,96) Havza 6'da yer aldığı görülmektedir. Bu durum havzanın genel olarak nispeten yüksek topoğrafyaya sahip olduğunu ifade etmektedir. Dolayısıyla bu havzanın yüksek tepelerden oluştuğunu, eğimin fazla ve erozyon duyarlılığının da fazla olabileceğini göstermektedir. TPI değerinin en düşük değerinin (TPI=377,91) Havza 4'de olması havzanın daha geniş düzlüklerden oluşabileceğini ve su tutma kapasitesinin fazla olduğunu ifade etmektedir.

Çizelge 5.16. Çoruh Havzası ve Havza 4, 6, 9'a ait temel fiziksel büyüklük verileri

Havza No	Havza Çevresi (P)	Havza Alanı (A)	Havza Maksimum Yükseklik (H_{max})	Havza Minimum Yükseklik (H_{min})	Havza Ortalama Yükseklik (H_{ort})	Havza Uzunluğu (L_b)	Toplam Akarsu Uzunluğu (L_u)	En uzun Akış Uzunluğu (L)
	km	km^2	m	m	m	m	km	m
ÇORUH HAVZASI	1 271,07	20 097,34	3 883	50	1 897,49	137 871,60	78 014,35	401 098,38
HAVZA 4	309,52	2 277,65	3 357	222	1 741,99	32 947,75	8 841,85	85 849,24
HAVZA 6	570,71	6 963,60	3 229	515	1 972,50	68 212,60	26 860,64	176 645,00
HAVZA 9	390,30	1 822,93	3 178	1.482	2 171,25	75 706,82	6 794,87	128 978,56

Çizelge 5.17. Çoruh Havzası ve Havza 4, 6, 9'a ait farklı mertebelerdeki akarsu sayıları

Havza No	Farklı mertebelerdeki akarsu sayıları (adet)									∑Nu
	Nu1	Nu2	Nu3	Nu4	Nu5	Nu6	Nu7	Nu8	Nu9	
ÇORUH HAVZASI	140 155	28 941	6 107	1 339	295	65	13	3	1	176 919
HAVZA 4	15 884	3 303	695	164	35	9	3	1	-	20 094
HAVZA 6	47 315	9 818	2 073	463	100	23	6	1	-	59 799
HAVZA 9	12 582	2 613	571	123	25	5	1	-	-	15 920

Çizelge 5.18. Çoruh Havzası ve Havza 4, 6, 9'a ait farklı mertebelerdeki akarsu uzunlukları

Havza No	Farklı mertebelerdeki akarsu uzunlukları (km)									∑Lu
	Lu1	Lu2	Lu3	Lu4	Lu5	Lu6	Lu7	Lu8	Lu9	
ÇORUH HAVZASI	46 843,85	16 316,09	7 711,83	3 745,95	1 779,73	849,23	416,18	282,89	105,72	78 051,46
HAVZA 4	5 302,28	1 832,95	881,25	445,99	208,23	89,96	48,76	36,56	-	8 845,99
HAVZA 6	15 876,85	5 757,54	2 674,68	1 414,48	587,09	250,10	225,28	87,02	-	26 873,03
HAVZA 9	4 048,44	1 437,73	711,16	276,42	159,66	99,19	65,78	-	-	6 798,38

Çizelge 5.19. Çoruh Havzası ve Havza 4, 6, 9'a ait çizgisel morfometrik parametre verileri

Havza No	Ağırlıklandırılmış Çatallanma Oranı	Ağırlıklandırılmış Akarsu Uzunluk Oranı	Tekstür Oranı	Yüzeysel Akış Uzunluğu	Ortalama Akarsu Uzunluğu
	R_{bwm} (-)	R_{lwm} (-)	T (1/km)	L_o (km)	L_{um} (km)
ÇORUH HAVZASI	4,81	2,54	110,27	0,13	0,44
HAVZA 4	4,78	2,54	51,32	0,13	0,44
HAVZA 6	4,79	2,48	82,91	0,13	0,45
HAVZA 9	4,77	2,51	32,24	0,13	0,43

Çizelge 5.20. Çoruh Havzası ve Havza 4, 6, 9'a ait alansal morfometrik parametre verileri

Havza No	Drenaj Yoğunluğu	Akarsu Sıklığı	İnfiltrasyon Değeri	Dairesellik Oranı	Uzunluk Oranı	Gravelius İndeks	Form Faktörü
	D_d (1/km)	F_s (1/km^2)	I_f (-)	R_c (-)	R_e (-)	K_g (-)	F (-)
ÇORUH HAVZASI	3,88	8,80	34,17	0,16	0,67	2,53	1,06
HAVZA 4	3,88	8,82	34,25	0,30	0,87	1,83	2,10
HAVZA 6	3,86	8,59	33,12	0,27	0,73	1,93	1,50
HAVZA 9	3,73	8,73	32,55	0,15	0,62	2,58	0,32

Çizelge 5.21. Çoruh Havzası ve Havza 4, 6, 9'a ait rölyef morfometrik parametre verileri

Havza No	Havza Rölyefi	Rölyef Oranı	Engebelilik Değeri	Havza Eğimi	Melton Engebelilik Değeri
	B_h (m)	R_h (-)	R_n (-)	S (-)	MRn (-)
ÇORUH HAVZASI	3.833	0,03	14,88	0,35	0,03
HAVZA 4	3.135	0,10	12,17	0,40	0,07
HAVZA 6	2.714	0,04	10,47	0,31	0,03
HAVZA 9	1.696	0,02	6,32	0,30	0,09

Çizelge 5.22. Çoruh Havzası ve Havza 4, 6, 9'a ait jeolojik-hidrolojik parametre verileri

Havza No	TWI (-)	SPI (-)	TRI (-)	TPI (-)
ÇORUH HAVZASI	26,22	18,89	0,91	561,96
HAVZA 4	24,07	16,55	0,88	464,387
HAVZA 6	24,84	18,01	0,87	561,961
HAVZA 9	23,85	15,70	0,85	377,910

6. ÇALIŞMA KAPSAMINDAKİ ÇORUH HAVZASI ALT HAVZALARININ EROZYON DUYARLILIKLARININ ÖNCELİKLENDİRİLMESİ

6.1. AHP Yöntemi İle Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

6.1.1. Uzman görüşü ile kriter ağırlıkların belirlenmesi (AHP-U)

Öncelikle Çoruh Havzası'na ait SYM kullanılarak oluşturulan drenaj ağlarından faydalanılarak elde edilen morfometrik parametreler kriter, alt havzalar ise alternatifler olarak esas alınmıştır. ÇKKV yöntemlerinin uygulanması için ilk adım olarak karar matrisi oluşturulmuştur. Çalışmanın bu bölümünde çalışma kapsamında morfometrik parametrelerin hesaplandığı üç alt havza Çoruh Havzası için daha genel bir sonuç elde edilebilmesi amacıyla birlikte değerlendirilmiştir. Buna göre elde edilen karar matrisi morfometrik parametre sayısını ifade eden 20 kolondan (kriter) ve alternatifleri ifade eden toplam 93 satırdan (alt havzalar) oluşturulmuştur. AHP yöntemi esasen kriterlerin etkilerini belirlerken çalışma konusu ile ilgili bireylerin (kişilerin) bilgi ve tecrübelerini esas alan bir yöntemdir. Bu nedenle ilk önce kriterlerin belirlenmesi için uzman görüşlerinden yararlanılmasına karar verilmiştir. Kapsamlı bir literatür araştırması sonucunda erozyon duyarlılığı ile ilgili literatürde bulunan uzman kişilerin tecrübelerinden yararlanılarak kriterler arasında üstünlük dereceleri 1-5 olarak ölçeklendirilip AHP yöntemine ait karşılaştırmalı üstünlük matrisi oluşturulmuştur. Bu değer aralığında 1 eşit öneme sahip, 3 biraz önemli, 5 fazla önemli ve 2,4 ara değerler olarak tanımlanarak karşılaştırmalı üstünlük matrisi elde edilmiştir (Sadhasivam, Bhardwaj, Pourghasemi ve Kamaraj, 2020). EK-4'te çalışma kapsamında oluşturulmuş karşılaştırmalı üstünlük matrisi verilmiştir. Daha sonra bu matrisdeki her değer ait olduğu sütundaki değerlerin toplamına bölünerek normalize matris tablosu oluşturulmuş ve her kritere ait ağırlığın hesaplanması için her satır ayrı ayrı toplanmıştır. Bu satırların toplamı 20 morfometrik parametre olduğundan her satır toplam değeri 20'ye bölünerek her bir kritere ait ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Karşılaştırmalı üstünlük matrisindeki değerler kriter ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklı normalize matris elde edilmiştir. Ağırlıklı normalize matriste her kritere ait satır toplanarak (t), her kriterin ağırlık değerine (w) bölünmüş ve t/w oranları elde edilmiştir. Bu t/w değerlerinin aritmetik ortalaması en büyük öz değer vektörünü (λ_{max}) vermektedir. Bu öz değer vektör ve kriter sayısı kullanılarak tutarlılık indeksi (CI) hesaplanmıştır. Saaty (1980)'nin farklı kriter

sayıları için hesapladığı Rassal İndeks tablosuna göre 20 kritere tekabül eden RI değeri 1,625'dir (Çizelge 4.7). Bu sonuçlardan elde edilen tutarlılık oranı (CR) 0,082 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.1). CR değerinin 0,1'den küçük olması kullanılan karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğunu gösterdiğinden AHP-U yönteminin geçerliliği doğrulanmıştır (Ada ve Çakır, 2022).

Çizelge 6.1. Uzman görüşü ile elde edilen parametre ağırlıkları ve tutarlılık oranı

Kriterler	t	w	t/w	λ_{max}	CI	RI	CR
Rbwm	0,811	0,037	22,136	22,546	0,134	1,625	0,082
Rlwm	0,687	0,031	21,878				
T	0,813	0,036	22,426				
Lo	0,647	0,029	22,109				
Lum	0,808	0,037	21,917				
Dd	1,432	0,062	23,161				
Fs	1,420	0,061	23,252				
If	0,302	0,014	21,764				
Rc	0,346	0,016	21,422				
Re	0,281	0,013	21,700				
Kg	1,392	0,059	23,642				
F	0,335	0,015	21,619				
Bh	1,644	0,069	23,661				
Rh	1,105	0,049	22,534				
Rn	1,531	0,066	23,171				
S	2,290	0,099	23,059				
MRn	2,374	0,105	22,605				
SPI	2,177	0,094	23,211				
TWI	0,934	0,042	22,073				
TRI	1,516	0,064	23,578				

Uzman görüşü ile elde edilen kriterlerin ağırlıkları incelendiğinde en büyük ağırlığa sahip parametrenin MRn, en küçük ağırlığa sahip parametrenin ise R_e olduğu görülmüştür.

6.1.2. Doğrusal normalizasyon ile kriter ağırlıkların belirlenmesi (AHP-N)

Çalışmada erozyon duyarlılığını etkileyen parametreler arasından seçilmiş olan 20 morfometrik parametre erozyonu duyarlılığı ile doğru veya ters orantılı olmak üzere iki grupta sınıflandırılmıştır. R_{bwm}, R_{lwm}, T, L_o, L_{um}, D_d, F_s, If, B_h, R_h, R_n, S, MRn, SPI ve TRI parametreleri erozyon duyarlılığına negatif etkili parametrelerdir yani bu parametrelerin değeri arttıkça erozyon duyarlılığı artmaktadır. R_c, R_e, K_g, F ve TWI parametrelerinin ise değeri arttıkça erozyon duyarlılığı azaldığından pozitif etkili parametrelerdir. Tehlike

derecesi (hazard index) olarak da literatürde isimlendirilen doğrusal normalizasyon işlemi negatif kriterler için tehlike derecesi Eş. 4.10, pozitif kriterler için Eş.4.11 ‘den yararlanılarak yapılmıştır.

Çoruh Havzası’na ait parametreler aralarında uzman görüşü yaklaşımında olduğu gibi 1-5 arasında üstünlük ölçeklendirmesi karşılaştırmalı üstünlük matrisi oluşturulmuştur (EK-5). Bu üstünlük matrisinde yer alan değerler uzman görüşünde yer alan değerlerle aynı şekilde ölçeklendirilmiştir. Karşılaştırılmalı üstünlük matrisinin ardından tekrar normalize tablosu oluşturularak kriterlerin ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Ağırlıkları belli olan kriterler için ağırlıklı normalize matris oluşturulmuştur.Çizelge 6.2’de doğrusal normalizasyon ile elde edilmiş parametre ağırlıkları ve tutarlılık oranı verilmiştir. Kriter ağırlıkları içerisinde en büyük ağırlığa sahip olan parametre R_c, en küçük ağırlığa sahip olan parametre ise MRn olarak belirlenmiştir (Çizelge 6.2). AHP yönteminin koşulu olan tutarlılık indeksi için uzman görüşü yöntemindeki işlem basamakları aynı sıra ile uygulanmıştır. Bu yaklaşımda elde edilen tutarlılık oranı (CR) 0,046 olarak hesaplanmıştır. CR<0,1 olduğu için tutarlı kabul edilen bu yaklaşımla elde edilen kriter ağırlıkları COPRAS ve TOPSIS yöntemlerinde kullanılabilecekleri doğrulanmıştır.

6.2. Entropi Yöntemi İle Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Satırların alt havza, sütunların parametreler olduğu karar matrisinde normalizasyon işlemleri gerçekleştirilerek her bir parametre değeri için Eş. 4.13 ve Eş. 4.14’deki formülden yararlanılarak entropileri hesaplanmıştır. Her parametreye ait entropi değerleri toplanarak belirsizlik seviyeleri ilişkilendirilmiş ve Eş. 4.15’de gösterildiği gibi ayrım gücü oranları elde edilerek Çizelge 6.3’te verildiği gibi Eş. 4.16 formülü ile 20 parametreye ait ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Kriter ağırlıkları arasında en büyük ağırlığa sahip olan parametre MRn, en küçük ağırlığa sahip olan parametre ise SPI olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlardan en büyük ağırlığa sahip parametrenin AHP-U sonuçları ile aynı olduğu görülmüştür. Elde edilen ağırlık değerleri COPRAS ve TOPSIS yönteminde kullanılmıştır.

Çizelge 6.2. Doğrusal normalizasyon ile elde edilen parametre ağırlıkları ve tutarlılık oranı

Kriterler	t	w	t/w	λmax	CI	RI	CR
Rbwm	0,876	0,041	21,401	21,429	0,075	1,625	0,046
Rlwm	0,286	0,014	20,662				
T	0,252	0,012	20,627				
Lo	1,844	0,082	22,475				
Lum	1,194	0,055	21,795				
Dd	0,427	0,021	20,582				
Fs	0,467	0,022	20,795				
If	0,537	0,026	20,837				
Rc	3,752	0,169	22,260				
Re	1,483	0,067	22,159				
Kg	2,030	0,091	22,413				
F	3,015	0,134	22,440				
Bh	0,370	0,018	20,623				
Rh	0,234	0,011	20,853				
Rn	0,328	0,016	20,506				
S	1,726	0,077	22,337				
MRn	0,159	0,007	21,196				
SPI	1,347	0,061	21,940				
TWI	0,950	0,044	21,649				
TRI	0,665	0,032	21,036				

Çizelge 6.3. Entropi yönteminde hesaplanan değerler tablosu ve kriter ağırlık oranları

	R_{bwm}	R_{lwm}	T	L_o	L_{um}	D_d	F_s	I_f	R_c	R_e
H_j	1,898	1,763	2,032	1,949	1,824	1,929	2,043	1,995	1,945	2,014
$H_{j,max}$	2,322	2,322	2,322	2,322	2,322	2,322	2,322	2,322	2,322	2,322
I_j	0,182	0,241	0,125	0,16	0,215	0,169	0,12	0,141	0,162	0,133
W_j	0,059	0,078	0,041	0,052	0,070	0,055	0,039	0,046	0,053	0,043

	K_g	F	B_h	R_h	R_n	S	MRn	SPI	TWI	TRI
H_j	1,979	1,99	2,082	1,864	2,098	1,975	1,76	2,119	2,062	1,976
$H_{j,max}$	2,322	2,322	2,322	2,322	2,322	2,322	2,322	2,322	2,322	2,322
I_j	0,148	0,143	0,103	0,197	0,096	0,149	0,242	0,088	0,112	0,149
W_j	0,048	0,046	0,034	0,064	0,031	0,049	0,079	0,028	0,036	0,048

6.3. Temel Bileşen Analizi Sonuçları

Bu yöntemin temel amacı çok sayıda veriden oluşan bir veri seti kullanarak erozyon duyarlılığını belirlemek yerine muhtemel en az bilgi kaybı ile daha az sayıda veri kullanarak alt havzaların erozyon duyarlılığını belirlemektir. Bölüm 4'te de bahsedildiği üzere ilk olarak verilerin bu yöntem için uygunluğu KMO ve Barlett test sonuçları kullanılarak

değerlendirilmiştir. Çalışmada parametrelere ait KMO ve Barlett test sonuçları Çizelge 6.4'te verilmiştir. KMO değerinin 0,699 çıkması yöntemin faktör analizi sonuçlarına göre orta derecede uygun olduğunu göstermiştir.

Çizelge 6.4. Parametrelerin KMO ve Barlett test sonuçları

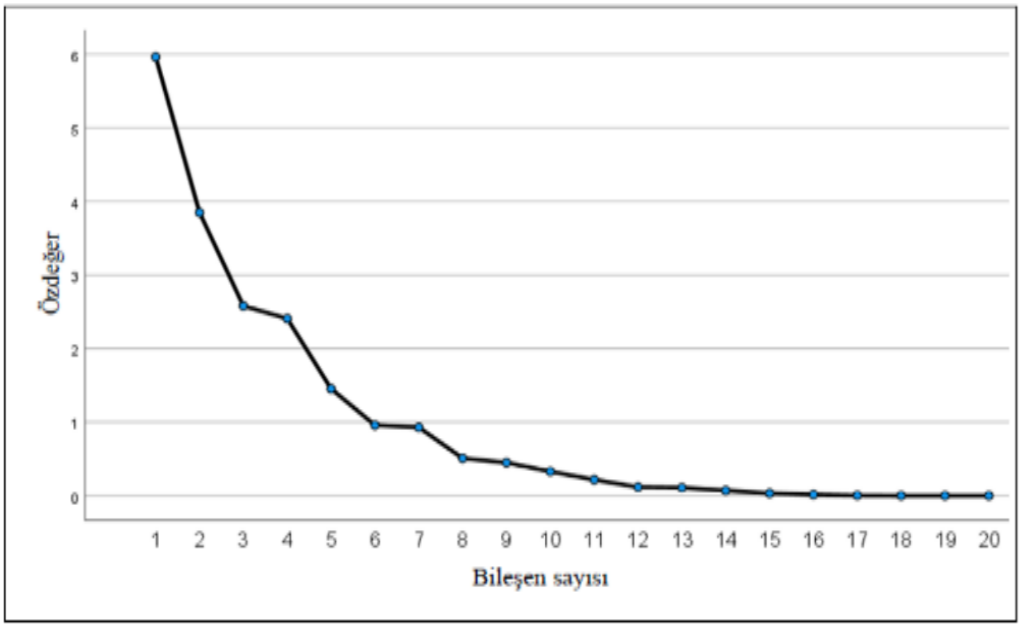
Kaiser-Meyer-Oikin (KMO) Örneklem Uygunluk Ölçüsü		0,699
Barlett'in Küresellik Testi	Barlett testinden elde edilen değer - $\chi 2$	3 935,517
	Serbestlik derecesi	190
	Anlamlılık	0

Özellikle Havza 4, 6 ve 9 birlikte değerlendirilerek 93 satır (alt havza) ve 20 sütundan (morfometrik parametre) oluşan veri matrisinden korelasyon matrisi elde edilmiştir (EK-6). Böylece parametrelerin birbirleriyle ilişkileri ve parametreler arasındaki karşılıklı üstünlük ilişkileri belirlenmiştir. Ardından tüm elemanların öz değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada öz değeri 1'den büyük olan parametreler anlamlı kabul edilerek analizde dikkate alınmışlardır (Koçyiğit, Akay, Babaiban, 2021). Çizelge 6.5'te faktörlerin öz değerleri, faktör yüklerinin kareler toplamının çıkartma değerleri ve rotasyon sonrası faktör yüklerinin kareler toplamı değerleri verilmiştir. Bileşenlere ait sütunlarda varyans yüzdeleri ve kümülatif varyans değerleri bulunmaktadır. Faktör yüklerinin kareler toplamını çıkartma işleminin amacı öz değeri birden büyük olan parametreleri belirlemektir. Erozyon duyarlılığı üzerinde daha etkili parametreler olarak belirlenen beş bileşenin yaklaşık varyansları sırası ile %30, %20, %13, %12 ve %7 olarak bulunmuştur. Bu bileşenlere karşılık gelen parametreler ise sırasıyla SPI, B_h, L_o, R_e ve F_s olarak belirlenmiştir Analiz sonucunda bu altı parametrenin varyans toplamının tüm parametrelerin %81,291'ine karşılık geldiği görülmüştür.

Yamaç eğim grafiği Şekil 6.1'de incelendiğinde x ekseni bileşen sayılarını, y ekseni ise bu sayılara karşılık gelen öz değerleri göstermektedir. Grafikte öz değerin 1'den büyük olduğu bileşenlerde eğimin fazla olduğu görülmektedir. Sekizinci bileşen sonrası için eğim gittikçe azalmaktadır. Özellikle 13'üncü bileşenden (parametreden) sonra ise düz bir şekilde devam etmektedir. Bu nedenle analizde bu bileşenler yer almamaktadır. Literatürde araştırmacıya bağlı olarak karar verildiğinden çalışma kapsamında öz değerleri 1'den büyük olan 5 parametre bileşen olarak alınmıştır. Bu parametreler sırasıyla SPI, B_h, L_o, R_e ve F_s 'dir.

Çizelge 6.5. Çoruh Havzası'na ait üç alt havzanın parametrelerinin toplam varyansı

Bileşen No	Başlangıç Özdeğerleri			Faktör Yüklerinin Kareler Toplamının Çıkartma Değeri			Rotasyon Sonrası Faktör Yüklerinin Kareler Toplamı		
	Toplam	Varyans (%)	Birikimli (%)	Toplam	Varyans (%)	Birikimli (%)	Toplam	Varyans (%)	Birikimli (%)
1	5,965	29,827	29,827	5,965	29,827	29,827	3,829	19,147	19,147
2	3,850	19,249	49,076	3,850	19,249	49,076	3,505	17,525	36,672
3	2,580	12,902	61,978	2,580	12,902	61,978	3,456	17,278	53,950
4	2,409	12,044	74,023	2,409	12,044	74,023	2,858	14,291	68,242
5	1,454	7,269	81,292	1,454	7,269	81,292	2,610	13,050	81,292
6	0,959	4,794	86,086						
7	0,930	4,649	90,735						
8	0,508	2,542	93,277						
9	0,450	2,248	95,525						
10	0,329	1,646	97,171						
11	0,217	1,086	98,257						
12	0,116	0,582	98,839						
13	0,109	0,544	99,383						
14	0,071	0,353	99,736						
15	0,033	0,163	99,899						
16	0,015	0,075	99,974						
17	0,004	0,020	29,827						
18	0,001	0,003	99,997						
19	0	0,002	99,999						
20	0	0,001	100						



Şekil 6.1. Temel bileşenler analizinde yamaç eğim grafiği

Elde edilmiş döndürülmemiş faktör matrisi Çizelge 6.6'da verilmiştir. Bileşenler güçlü korelasyon (r > 0,90) , iyi korelasyon (0.90 ≥ r > 0,75) ve orta korelasyon (0,75 ≥ r > 0,60) olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. Bileşen 1 (B1) L_o, D_d, I_f, R_h ve R_n parametreleri ile iyi korelasyona; Bileşen 2 (B2) T parametresi ile güçlü, SPI parametresi ile iyi korelasyona; Bileşen 3 (B3) R_e, R_c ve K_g parametresi ile orta korelasyona; Bileşen 4 (B4) L_{um} ise iyi korelasyona sahiptir. Bileşen 5 (B5) ise kabul edilebilir hiçbir korelasyona sahip değillerdir. Bu yüzden B5'in kabul edilebilir korelasyona sahip olması için Çizelge 6.7'de verilmiş olan döndürülmüş korelasyon matrisi elde edilmiştir. Böylece döndürülmüş faktör yükleme matrisinde B1'in T, SPI ve TWI parametreleriyle iyi ve R_h, MRn ve TRI parametresi ile orta; B2'nin B_h ve R_n parametresi ile iyi, S parametresi ile orta korelasyona; B3'ün L_o ve D_d parametreleri ile güçlü korelasyona, L_{um} parametresiyle iyi korelasyona, I_f parametresi ile orta korelasyona; B4'ün R_e, F ve K_g parametreleri ile iyi korelasyona, R_c parametresi ile orta korelasyona; B5'in F_s parametresi ile güçlü korelasyona, R_{bwm} ve If parametreleri ile orta korelasyona sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 6.6. Döndürülmemiş faktör yükleme matrisi

Parametreler	Bileşenler (B)				
	1	2	3	4	5
R_{bwm}	-0,436	0,059	0,084	0,019	0,514
R_{lwm}	0,378	-0,14	0,158	0,38	-0,094
T	0,078	0,932	-0,055	0,161	0,058
L_o	-0,777	-0,071	-0,366	0,477	0,102
L_{um}	0,242	-0,013	0,237	-0,842	0,356
D_d	0,78	0,047	0,38	-0,467	-0,105
F_s	0,638	0,064	0,165	0,439	-0,551
I_f	0,845	0,059	0,338	-0,069	-0,362
R_c	0,538	0,152	-0,683	0,148	0,106
R_e	0,153	0,319	-0,677	-0,457	-0,18
K_g	-0,532	-0,121	0,713	-0,035	-0,063
F	0,147	0,424	-0,611	-0,423	-0,162
B_h	0,716	0,422	0,131	0,229	0,43
R_h	0,768	-0,455	-0,277	-0,092	0,125
R_n	0,78	0,389	0,192	0,14	0,378
S	0,599	-0,08	-0,135	0,556	0,167
MRn	0,708	-0,61	0,013	0,067	0,209
SPI	-0,023	0,875	0,152	0,248	0,105
TWI	-0,203	0,714	0,278	-0,131	0,074
TRI	-0,061	0,658	0,111	-0,014	-0,299

Çizelge 6.7. Döndürülmüş faktör yükleme matrisi

Parametreler	Bileşenler (B)				
	1	2	3	4	5
Rbwm	0,107	0,041	-0,172	-0,239	-0,604
Rlwm	-0,136	0,344	-0,017	-0,188	0,41
T	0,86	0,316	-0,044	0,256	0,003
Lo	0,015	-0,182	-0,915	-0,07	-0,326
Lum	-0,091	-0,081	0,862	0,083	-0,433
Dd	-0,034	0,181	0,914	0,05	0,336
Fs	0,06	0,305	0,063	-0,035	0,913
If	0,006	0,279	0,627	0,009	0,704
Rc	-0,115	0,52	-0,102	0,706	0,138
Re	0,109	-0,162	0,12	0,879	-0,033
Kg	0,153	-0,431	0,041	-0,765	-0,128
F	0,226	-0,123	0,128	0,834	-0,035
Bh	0,265	0,872	0,327	0,056	0,075
Rh	-0,658	0,44	0,339	0,329	0,22
Rn	0,235	0,828	0,446	0,046	0,124
S	-0,203	0,741	-0,133	0,048	0,332
MRn	-0,726	0,496	0,316	-0,04	0,22
SPI	0,873	0,307	-0,07	0,002	-0,026
TWI	0,763	-0,044	0,151	-0,068	-0,198
TRI	0,69	-0,115	0,042	0,105	0,192

Genel olarak bakıldığında B3 ve B5'in güçlü, B1, B2 ve B4'ün iyi korelasyona sahip olduğu görülmüştür. SPI, B_h, L_o, R_e ve F_s parametrelerinin döndürülmüş faktör yükleme matrisine göre de en önemli bileşenler olduğu belirlenmiş ve Çoruh Havzası erozyon duyarlılığı analizi için bu parametreler kullanılmıştır.

6.4. Eşit Kriter Ağırlığının Belirlenmesi

Çalışma kapsamında erozyon duyarlılığını etkileyen parametreler arasından seçilmiş olan 17 adet morfometrik parametre ve 3 adet jeolojik-hidrolojik parametrenin her birinin eşit ağırlığa sahip olduğu kabul edildiğinden ağırlık katsayıları 0,05 olarak alınmıştır. Elde edilen ağırlık değerleri COPRAS ve TOPSIS yönteminde kullanılmıştır.

6.5. COPRAS Yöntemine Göre Önceliklendirme

Kriter ağırlıklarının belirlenmesinin ardından COPRAS yöntemi ile alt havzalar erozyona duyarlılıkları bakımından önceliklendirilmişlerdir. Önceliklendirme işleminde de Çoruh Havzası'na ait 93 adet alt havza alternatif, 20 adet morfometrik parametre ise kriter olarak alınmıştır. Morfometrik parametreler erozyon duyarlılığı açısından avantajlı ve avantajlı olmayan şeklinde iki grupta sınıflandırılmıştır. Parametre değerin artmasıyla erozyon duyarlılığının azaldığı parametreler avantajlı grup olarak nitelendirilmişlerdir. Bunlar; R_c, R_e, K_g, F ve TWI parametreleridir. Diğer yandan parametre değerlerinin artmasıyla erozyon duyarlılığının arttığı parametreler avantajlı olmayan parametrelerdir. Bu grupta ise R_{bwm}, R_{lwm}, T, L_o, L_{um}, D_d, F_s, I_f, B_h, R_h, R_n, S, MRn, SPI, TRI parametreleri yer almaktadır. COPRAS yönteminde karar verme matrisinin oluşturulmasının ardından normalize karar matrisi Eş. 4.18 ve Eş. 4.19'den yararlanılarak oluşturulmuştur. Bu adıma kadar tüm kriter yöntemlerinde aynı adımlar takip edilmektedir. Normalize karar matrisi oluşturulduktan sonra AHP yöntemi (AHP-U ve AHP-N), entropi, temel bileşen analizi ve eşit ağırlık olarak belirlenen tüm kriter ağırlıkları ile Eş. 4.20 ve Eş. 4.21'den yararlanılarak ağırlıklı normalize matris elde edilmiştir. Avantajlı ve avantajlı olmayan kriterler Eş. 4.22 ve Eş.4.23 kullanılarak toplanmıştır. Daha sonra Eş. 4.24 ile Q_i ve Eş. 4.25 ile N_i değerleri hesaplanmıştır. N_i fayda dereceleri en büyükten en küçüğe doğru sıralanmış bölyece alt havzalar erozyon duyarlılığı açısından en küçükten en büyüğe doğru önceliklendirilmiştir. Çizelge 6.8'de COPRAS yöntemine göre Çoruh Havzası'na ait 93 alt havzanın erozyon duyarlılığı açısından önceliklendirilme tablosu verilmiştir. Çizelge 6.9'da ise farklı kriter ağırlıkları yöntemlerine göre en küçük ve en büyük erozyon duyarlılığı olan alt havzalar özet olarak verilmiştir. Ayrıca alt havzaların duyarlılığı az, orta ve çok olmak üzere üç kategoriye ayrılarak Harita 6.1-Harita 6.5 verilmiştir.

Çizelge 6.8. COPRAS yöntemine göre önceliklendirme tablosu

	Alt Havzalar	AHP-U	AHP-N	Entropi	Temel Bileşen Analizi	Eşit ağırlık
HAVZA 4	B2	63	30	66	39	59
	B3	69	72	82	53	61
	B4	80	6	58	84	90
	B5	78	15	67	61	77
	B6	79	2	51	47	88
	B7	92	16	86	89	93
	B8	84	70	85	91	86
	B9	91	82	88	93	91
	B10	86	34	83	75	81
	B11	52	18	41	33	46
	B12	81	32	68	71	66

Çizelge 6.8. (devam) COPRAS yöntemine göre önceliklendirme tablosu

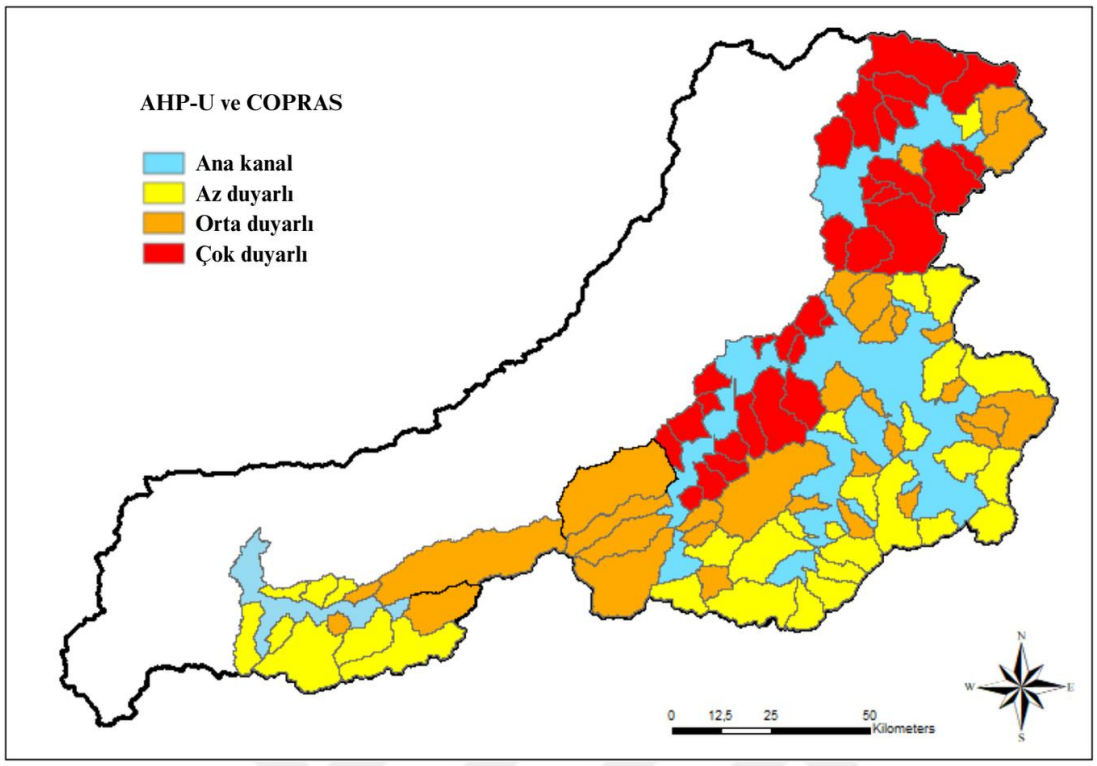
	Alt Havzalar	AHP-U	AHP-N	Entropi	Temel Bileşen Analizi	Eşit ağırlık
HAVZA 4	B13	83	41	80	86	82
	B14	66	10	50	81	80
	B15	67	49	65	87	74
	B16	72	17	63	76	83
	B17	82	61	84	69	75
	B18	24	19	22	12	19
	B19	61	27	55	68	64
	B20	60	8	46	70	73
HAVZA 6	C2	85	93	89	90	85
	C3	87	57	87	48	87
	C4	77	45	79	57	72
	C5	65	22	56	52	67
	C6	70	65	71	67	63
	C7	64	48	60	56	60
	C8	75	85	81	80	65
	C9	57	81	57	83	69
	C10	73	13	69	23	71
	C11	56	92	73	92	56
	C12	51	88	59	88	53
	C13	50	60	49	79	62
	C14	47	79	44	60	39
	C15	35	59	33	28	22
	C16	32	20	23	7	28
	C17	22	7	15	16	33
	C18	93	90	93	73	92
	C19	74	80	78	85	78
	C20	68	78	75	82	68
	C21	89	87	91	78	89
	C22	88	77	90	64	79
	C23	53	31	43	43	51
	C24	26	55	34	24	21
	C25	23	51	26	34	24
	C26	44	64	54	35	36
	C27	76	33	74	50	76
	C28	90	58	92	10	84
	C29	58	74	61	66	58
	C30	42	24	32	54	48
	C31	46	23	40	8	47
	C32	54	28	62	18	54
	C33	62	36	64	30	57
	C34	31	14	27	25	37
	C35	16	3	5	13	30
	C36	49	83	70	37	43
	C37	59	52	72	49	55
	C38	30	68	28	36	16
	C39	48	43	53	29	45
	C40	38	67	35	74	50
	C41	20	26	18	9	18
	C42	36	75	52	51	32
	C43	43	84	47	62	27
	C44	2	5	3	1	1
	C45	17	54	42	55	13
	C46	11	40	9	31	10
	C47	13	39	14	46	23
	C48	9	56	19	21	8
	C49	4	38	10	19	6
	C50	3	25	4	14	4

Çizelge 6.8. (devam) COPRAS yöntemine göre önceliklendirme tablosu

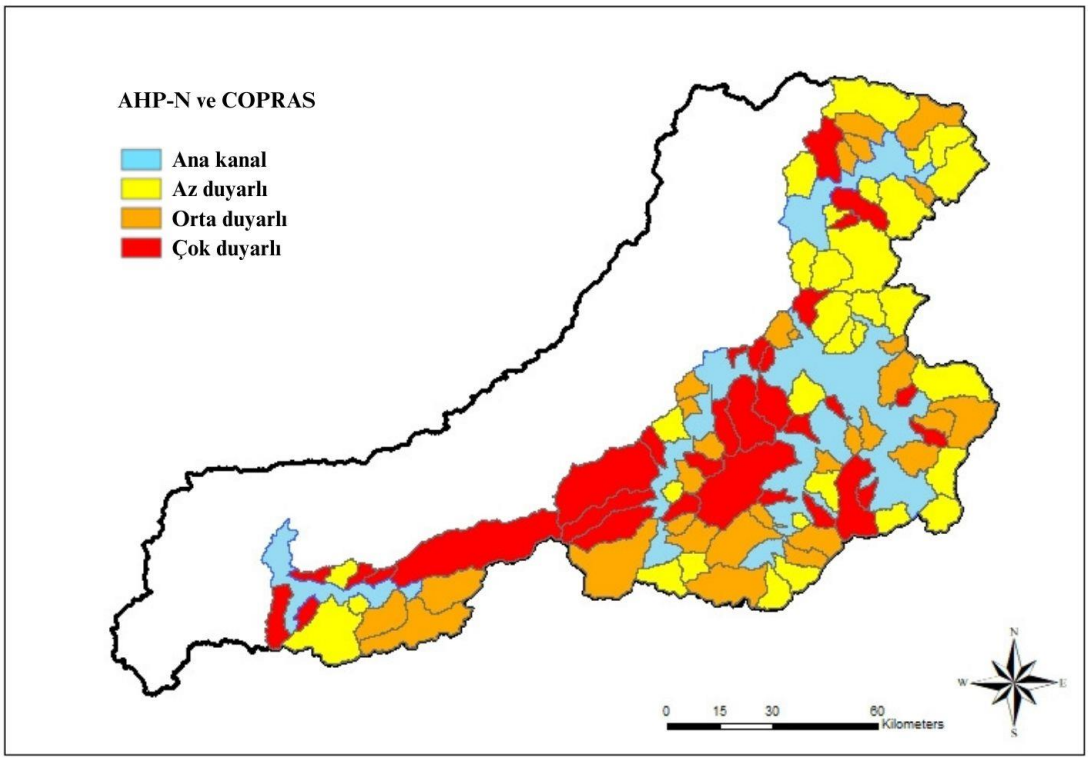
	Alt Havzalar	AHP-U	AHP-N	Entropi	Temel Bileşen Analizi	Eşit ağırlık
HAVZA 6	C51	18	62	20	59	26
	C52	55	91	76	72	49
	C53	37	37	37	42	38
	C54	45	47	39	63	52
	C55	7	11	2	5	14
	C56	29	35	30	22	34
	C57	28	63	24	58	31
	C58	40	71	45	44	29
	C59	19	9	12	6	20
	C60	5	29	8	11	11
	C61	1	1	1	2	3
	C62	71	53	77	65	70
	C63	6	50	6	20	7
HAVZA 9	A2	8	86	16	45	2
	A3	15	73	21	40	12
	A4	21	66	29	15	15
	A5	27	12	13	17	41
	A6	10	21	7	4	9
	A7	14	69	17	27	5
	A8	39	4	31	3	42
	A9	41	76	48	26	35
	A10	25	44	25	32	25
	A11	34	89	38	77	44
	A12	12	42	11	38	17
	A13	33	46	36	41	40

Çizelge 6.9. COPRAS yöntemine göre erozyon duyarlılığı en düşük ve en yüksek olan alt havzalar

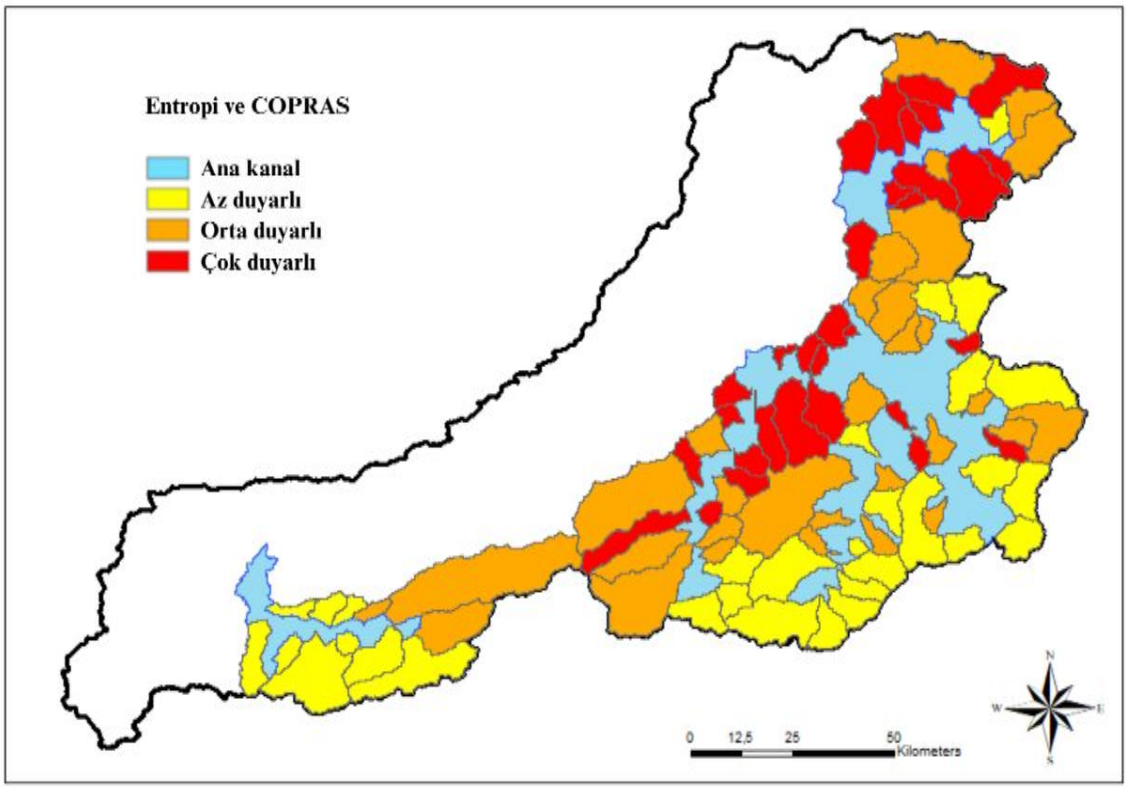
	AHP-U	AHP-N	Entropi	Temel Bileşen Analizi	Eşit Ağırlık
En az duyarlılık	C61	C61	C61	C44	C44
En yüksek duyarlılık	C18	C2	C18	B9	B7



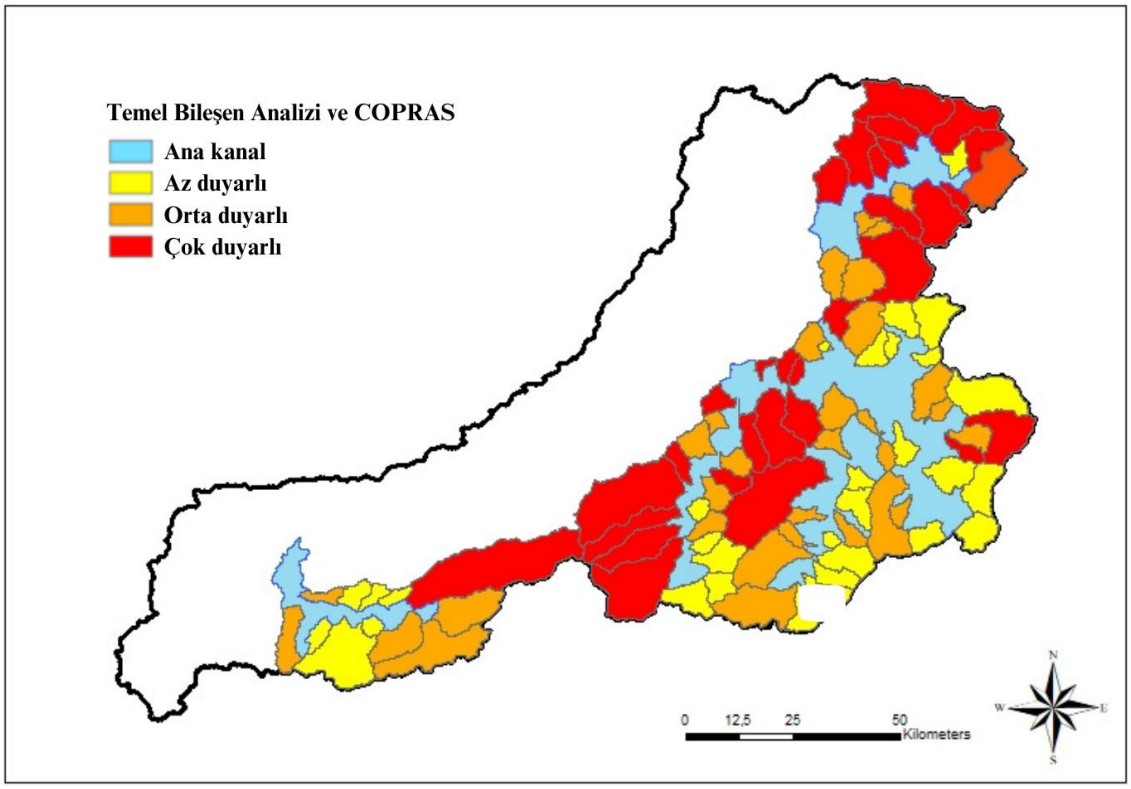
Harita 6.1. AHP-U ve COPRAS yöntemlerine göre erozyon duyarlılığı haritası



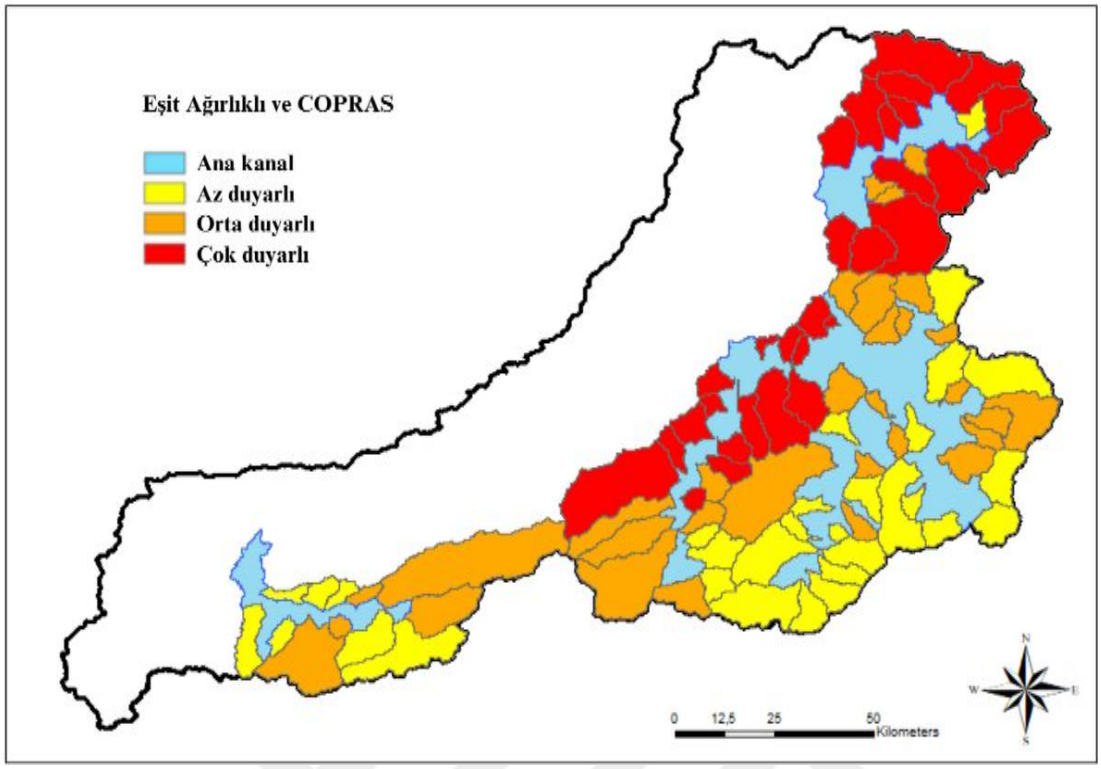
Harita 6.2. AHP-N ve COPRAS yöntemlerine göre erozyon duyarlılığı haritası



Harita 6.3. Entropi ve COPRAS yöntemlerine göre erozyon duyarlılığı haritası



Harita 6.4. Temel bileşen analizi ve COPRAS yöntemlerine göre erozyon duyarlılığı haritası



Harita 6.5. Eşit ağırlık ve COPRAS yöntemlerine göre erozyon duyarlılığı haritası

Çizelge 6.9'da verilen farklı kriter ağırlığı yöntemleri ve COPRAS yöntemine göre elde edilmiş erozyon duyarlılığı önceliklendirme tablosu incelendiğinde erozyon duyarlılığının AHP-U ve entropi yöntemlerinde aynı sonuçları verdiği, erozyona en az ve en fazla duyarlı alt havzanın sırasıyla C61 ve C18 alt havzaları olduğu görülmüştür. Havza 6'da bulunan C18 alt havzası Bölüm 5'te yer alan parametreler ile erozyon duyarlılığı değerlendirme çalışmalarında da ağırlıklı akarsu uzunluk oranı ve Melton engebelilik değeri sonuçlarında 93 alt havza arasından en yüksek değere sahip alt havza olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde COPRAS önceliklendirme sonucunda Havza 4'te Artvin Merkez'de yer alan B7 alt havzasında da morfometrik ise parametreler ile erozyon duyarlılığı değerlendirme çalışmalarında 93 alt havza arasında birçok parametrenin maksimum değerinin elde edildiği alt havza olmuştur. Bu parametreler ağırlıklı akarsu uzunluk oranı, dairesellik oranı, havza rölyefi, rölyef oranı, engebelilik değeri ve eğimdir. Tam tersi COPRAS önceliklendirme sonuçlarından erozyona en az duyarlı alt havzalardan biri olan Havza 6'daki C44 ise Erzurum ili Narman ilçesinde yer almaktadır. Bu alt havza parametreler ile erozyon duyarlılığı değerlendirme çalışmalarında havza rölyefi ve engebelilik değerlerinde minimum değerler almıştır.

Harita 6.1-Harita 6.5'te verilen erozyon duyarlılığı haritaları incelendiğinde alt havzaların önceliklendirilmelerinde önemli farklılıklar olduğu görülmüştür. Örneğin erozyon duyarlılığı en yüksek olan alt havzalar çoktan aza doğru sırasıyla eşit ağırlık, AHP-U ve entropi yöntemlerinde elde edilmiştir. Tüm yöntemlerde Havza 6'nın belirli alt havzaları (C2, C8, C18, C21 ve C22) en duyarlı alt havzalar olarak önceliklendirilmiştir. AHP-N ve temel bileşen analizi yöntemlerinden de elde edilen erozyona duyarlılık haritaları da birbirlerine en yakın sonuçları vermişlerdir.

6.6. TOPSIS Yöntemine Göre Önceliklendirme

Çalışmada havzaların erozyon duyarlılığına göre önceliklendirilmeleri için kullanılmış olan ikinci yöntem TOPSIS'tir. COPRAS'ta olduğu gibi kriter ağırlıklarının farklı yaklaşımlarla belirlenmesi ile parametrelere ait beş farklı ağırlık verisi elde edilmiştir. TOPSIS yönteminde de Çoruh Havzası'na ait alt havzalar alternatif, parametreler ise kriter olarak alınmıştır. Başlangıçta tüm yöntemlerde olduğu gibi karar verme matrisi oluşturulmuş ve Eş. 4.27 ve Eş. 4.28'den yararlanılarak normalize karar verme matrisi elde edilmiştir. Oluşan normalize karar verme matrisi ile Eş. 4.29 ve Eş. 4.30'da gösterildiği gibi tüm yöntemlerden elde edilen beş ağırlık tablosu kullanılarak ağırlıklandırılmış normalize matris oluşturulmuştur. Daha sonra Eş.31 ve Eş. 4.32'den yararlanılarak ideal ve negatif ideal belirleme aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada parametreleri erozyon duyarlılığı açısından doğru bir şekilde avantajlı ve avantajlı olmayan olarak belirlemek çok önemlidir. Çalışmada COPRAS yöntemindeki sınıflandırma, TOPSIS yöntemi içinde aynen uygulanmıştır. Pozitif ideal çözüm değerleri belirlenirken R_c, R_e, K_g, F ve S parametreleri için maksimum değerler; R_{bwm}, R_{lwm}, T, L_o, L_{um}, D_d, F_s, B_h, R_h, R_n, I_f ve MRn parametreleri için minimum değerler alınmıştır. Negatif ideal çözümde ise bu işlemlerin tam tersi yapılmıştır.

Hesaplanan pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerlerinden yararlanarak Eş.33 ve Eş.34'de gösterildiği gibi ayırım ölçüleri bulunmuştur. Hesaplanan ayırım ölçülerinden göreli yakınlık değerleri belirlenmiştir. Çıkan C yakınlık değerlerinden en büyük C değeri erozyon duyarlılığı açısından en az duyarlı olan alt havzayı (alternatifi), en küçük C değeri ise erozyon duyarlılığı açısından en duyarlı olan alt havzayı (alternatifi) temsil etmektedir. Çünkü C değeri bulunurken erozyon duyarlılığı açısından negatif etkiyecek parametreler minimize edilmiş, pozitif etkiyecek parametreler ise maksimize edilmiştir. Böylece C değeri ne kadar büyükse bu değeri oluşturan pozitif parametrelerin sayısının da daha fazla olduğu

anlamı çıkmaktadır. Böylece yakınlık değerlerini en yüksek değerden en düşük değere doğru sıralayarak alt havzaların erozyon duyarlılığı en düşükten en yükseğe doğru önceliklendirilmiştir. Çizelge 6.10'da 93 adet alt havzanın erozyon duyarlılığına göre önceliklendirilmeleri, Çizelge 6.11'de ise farklı kriter ağırlıkları yöntemlerine göre en düşük ve en yüksek duyarlılığa sahip alt havzalar görülmektedir. Çalışmada elde edilen alt havzaların önceliklendirme sıralaması az duyarlı, orta duyarlı ve yüksek duyarlı olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır. Erozyon açısından duyarlı bölgeler farklı kriter ağırlıkları yöntemlerine göre Harita 6.6 - Harita 6.10'da gösterilmiştir.

TOPSIS önceliklendirme sonuçları incelendiğinde erozyon duyarlılığı en fazla olan alt havzaların C2, B9 ve C18 olduğu tespit edilmiştir. Bu alt havzalardan C2 Erzurum-Uzundere'de, B9 Artvin'de ve C18 Artvin-Yusufeli'nde bulunmaktadır. Parametreler ile erozyon duyarlılığı değerlendirme çalışmalarında ortalama akarsu uzunluğu, drenaj yoğunluğu ve engebelilik değerlerinin maksimum değerleri de C2 alt havzasında yer almaktadır. Bu parametre değerlerin artması sızmayı azaltıp, erozyon duyarlılığını artıracağı için TOPSIS yöntemi ile birbirlerini desteklemektedir. Erozyon duyarlılığı en az alt havzalar incelendiğinde ise TOPSIS yönteminde Havza 4'te bulunan B6 ve Havza 6'da bulunan C61 çıkmıştır. Bu alt havzalardan B6, Artvin-Ardanuç'da yer almaktadır. B6 alt havzası için parametreler ile erozyon duyarlılığı değerlendirme çalışmaları incelendiğinde alansal morfometrilerden maksimum uzunluk oranı ve form faktörü değerlerini içerdiği görülmektedir.

Çizelge 6.10. TOPSIS yöntemine göre önceliklendirme tablosu

	Alt Havzalar	AHP-U	AHP-N	Entropi	Temel Bileşen Analizi	Eşit Ağırlık
HAVZA 4	B2	70	23	75	40	60
	B3	76	56	82	60	75
	B4	65	2	52	85	78
	B5	72	7	66	69	67
	B6	73	1	56	62	55
	B7	91	5	88	90	91
	B8	78	41	77	92	85
	B9	87	38	87	93	92
	B10	86	15	83	75	83
	B11	55	12	44	29	37
	B12	84	13	74	71	73
	B13	79	18	69	86	82
	B14	63	6	42	78	63
	B15	61	32	54	87	74
	B16	60	9	48	79	68

Çizelge 6.10. (devam) TOPSIS yöntemine göre önceliklendirme tablosu

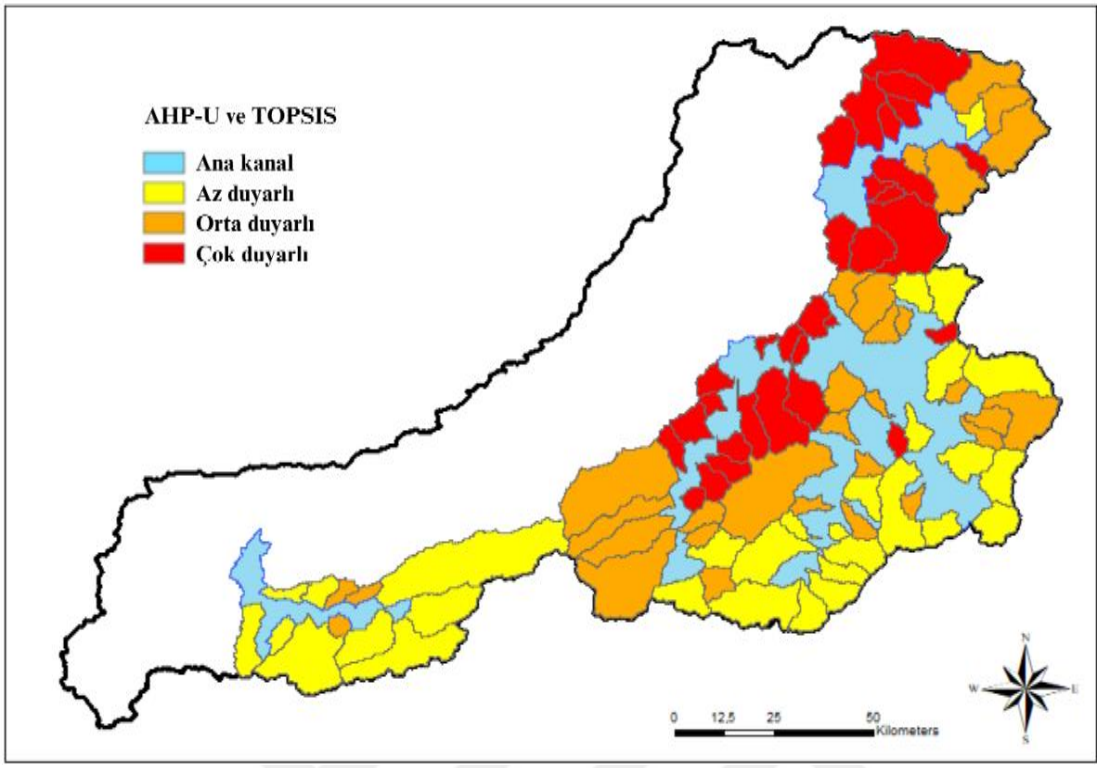
	Alt Havzalar	AHP-U	AHP-N	Entropi	Temel Bileşen Analizi	Eşit ağırlık
HAVZA 4	B17	82	34	86	72	81
	B18	26	21	19	14	12
	B19	57	20	51	74	54
	B20	47	3	33	73	45
HAVZA 6	C2	85	93	81	91	87
	C3	88	42	89	53	86
	C4	83	36	84	64	79
	C5	71	19	65	59	56
	C6	74	50	71	65	70
	C7	68	37	64	51	58
	C8	80	85	85	77	84
	C9	46	73	43	82	69
	C10	81	11	80	16	64
	C11	51	92	57	88	72
	C12	40	86	45	84	62
	C13	41	51	34	76	52
	C14	49	78	46	47	46
	C15	42	61	41	27	31
	C16	34	27	24	7	11
	C17	14	16	9	12	8
	C18	93	83	93	80	93
	C19	66	69	59	89	80
	C20	64	70	62	83	77
	C21	90	81	90	81	90
	C22	89	55	91	67	88
	C23	50	26	39	45	39
	C24	28	66	38	38	32
	C25	16	62	23	42	29
	C26	54	75	67	48	51
	C27	75	28	72	57	71
	C28	92	43	92	23	89
	C29	62	72	60	61	61
	C30	38	29	28	55	36
	C31	44	31	49	15	38
	C32	56	33	70	21	49
	C33	69	35	76	35	59
	C34	21	24	21	28	15
	C35	8	10	3	11	3
	C36	58	87	73	46	57
	C37	67	52	78	54	65
	C38	36	77	37	30	30
	C39	52	54	63	36	47
	C40	35	65	29	68	48
	C41	18	39	22	13	16
	C42	37	79	53	50	44
	C43	53	89	61	52	50
	C44	17	14	14	3	2

Çizelge 6.10. (devam) TOPSIS yöntemine göre önceliklendirme tablosu

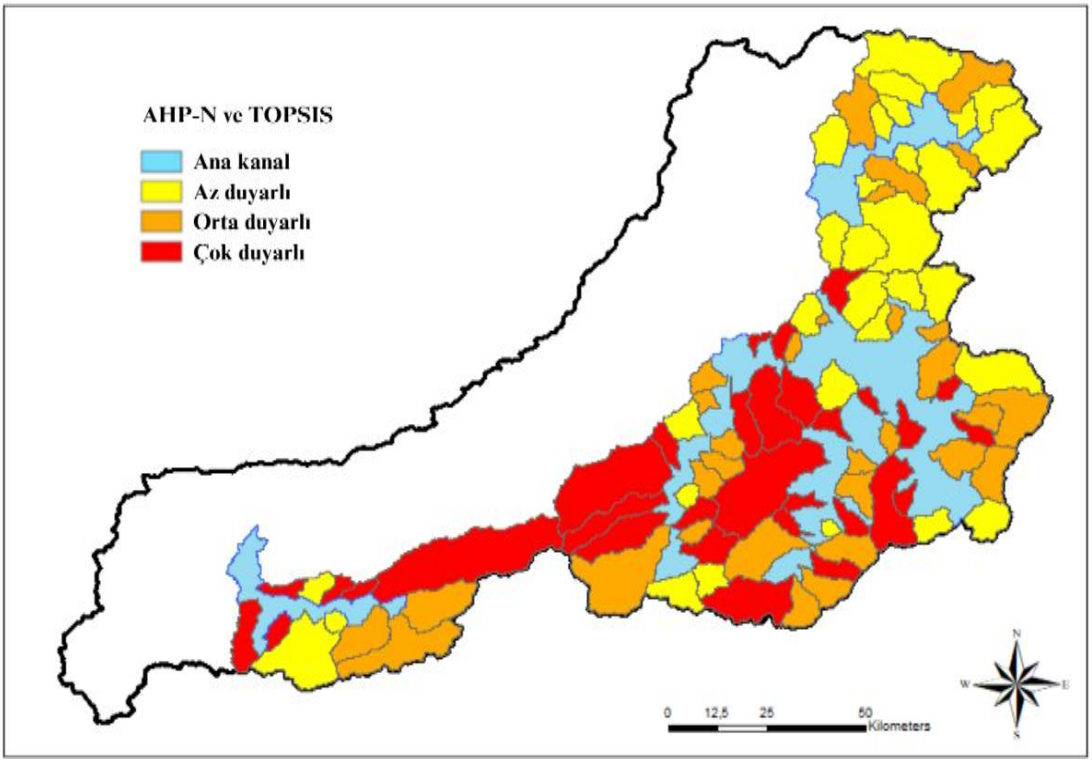
	Alt Havzalar	AHP-U	AHP-N	Entropi	Temel Bileşen Analizi	Eşit ağırlık
HAVZA 6	C45	29	63	58	56	41
	C46	7	59	11	33	17
	C47	6	57	12	41	25
	C48	5	71	25	31	21
	C49	3	60	13	19	10
	C50	2	40	4	9	7
	C51	11	67	16	43	28
	C52	59	90	68	70	66
	C53	33	46	35	34	27
	C54	39	48	30	58	40
	C55	10	25	2	5	6
	C56	15	44	18	22	20
	C57	24	68	20	49	33
	C58	45	76	55	39	43
	C59	19	17	7	6	5
	C60	4	45	5	8	9
	C61	1	4	1	1	1
	C62	77	47	79	63	76
	C63	9	64	10	17	13
	A2	23	91	36	44	34
	A3	20	84	26	37	26
	A4	25	74	32	18	24
	A5	27	22	8	10	14
	A6	13	30	6	4	4
	A7	32	82	31	24	23
	A8	43	8	47	2	18
	A9	48	80	50	20	42
	A10	22	53	17	26	22
	A11	31	88	40	66	53
	A12	12	58	15	25	19
	A13	30	49	27	32	35

Çizelge 6.11. TOPSIS yöntemine göre erozyon duyarlılığı en düşük ve en yüksek olan alt havzalar

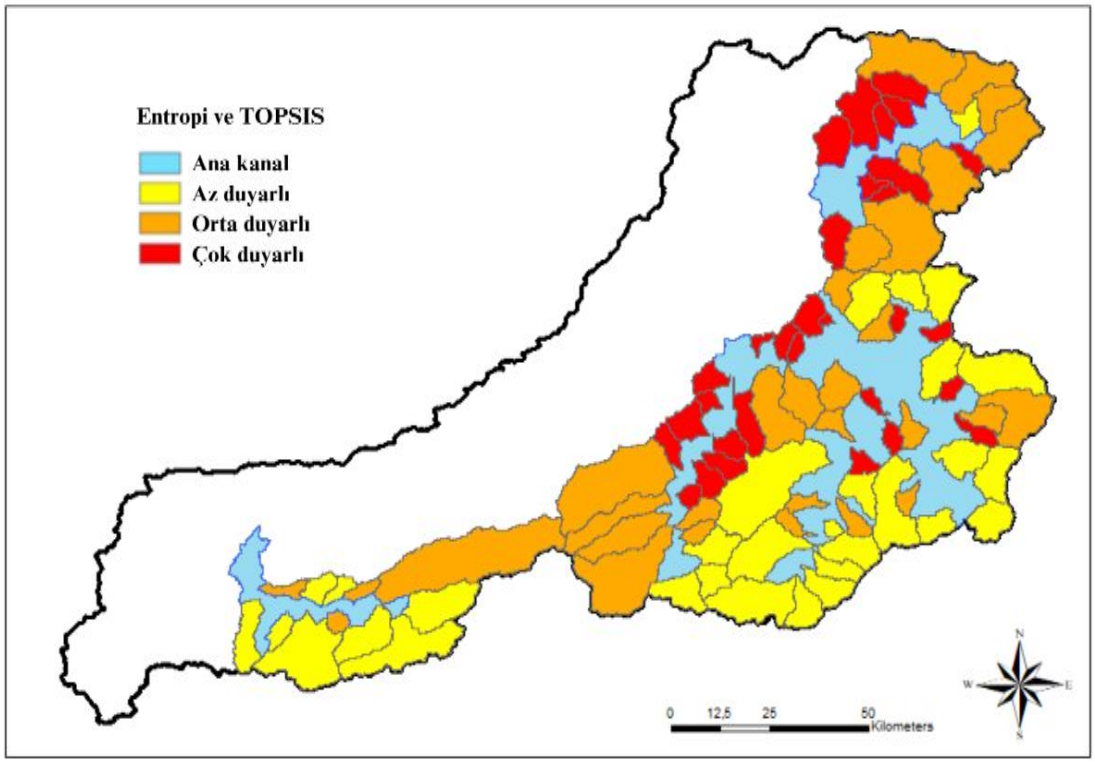
	AHP-U	AHP-N	Entropi	Temel Bileşen Analizi	Eşit Ağırlık
En az duyarlılık	C61	B6	C61	C61	C61
En yüksek duyarlılık	C18	C2	C18	B9	C18



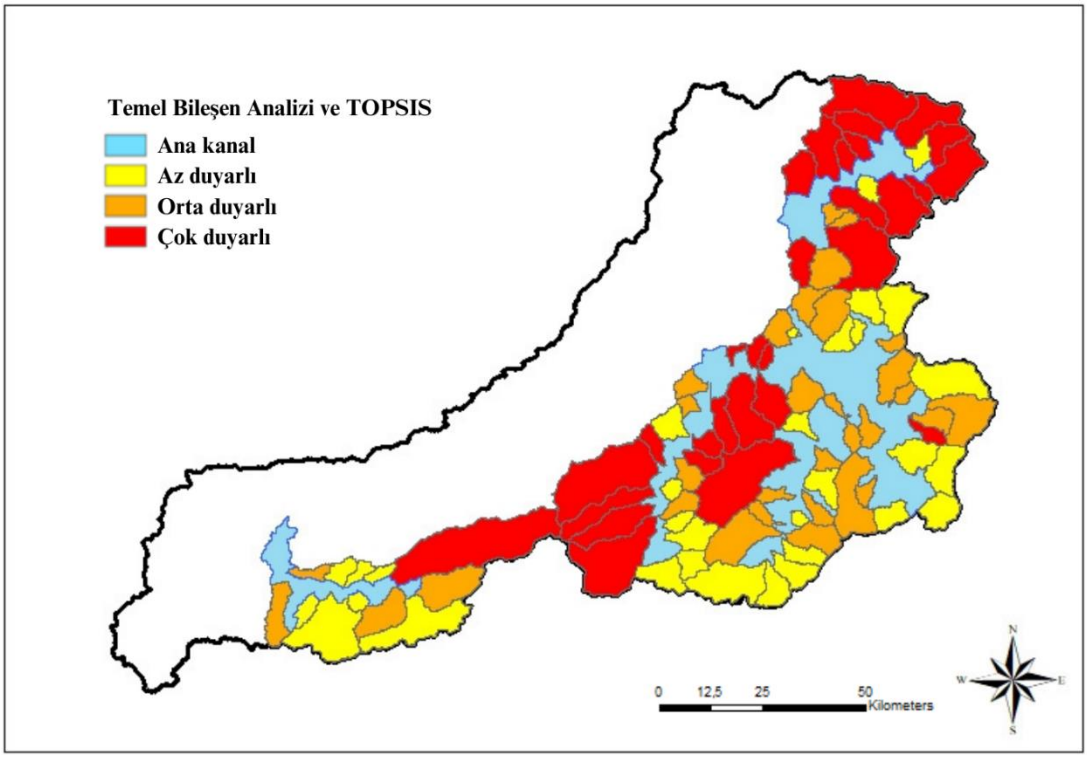
Harita 6.6. AHP-U ve TOPSIS yöntemlerine göre erozyon duyarlılığı haritası



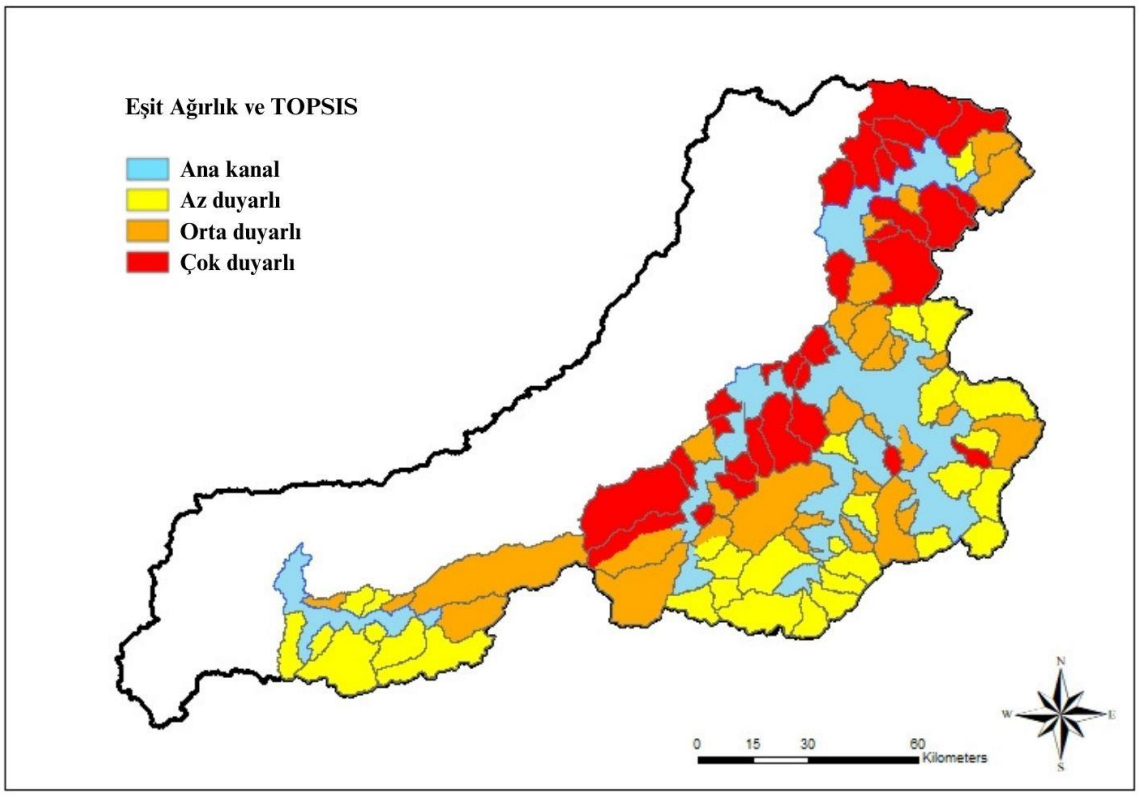
Harita 6.7. AHP-N ve TOPSIS yöntemlerine göre erozyon duyarlılığı haritası



Harita 6.8. Entropi ve TOPSIS yöntemlerine göre erozyon duyarlılığı haritası



Harita 6.9. Temel bileşen analizi ve TOPSIS yöntemlerine göre erozyon duyarlılığı haritası



Harita 6.10. Eşit ağırlık ve TOPSIS yöntemlerine göre erozyon duyarlılığı haritası

Harita 6.6-Harita 6.10'da verilen TOPSIS yöntemi kullanılarak üç havzada yapılmış olan önceliklendirme sonuçlarına göre AHP-U, entropi, temel bileşen analizi ve eşit ağırlık yöntemleri nispeten benzer eğilimler göstermişlerdir.

6.7. Çalışma Kapsamında Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

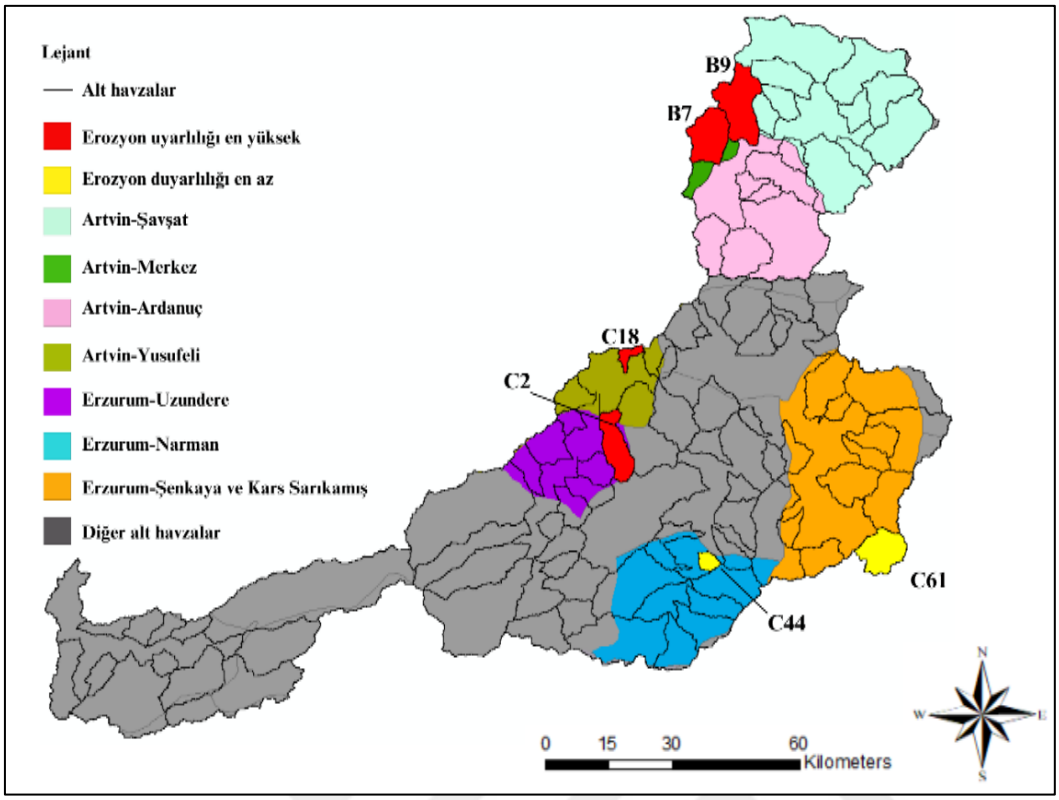
Çoruh Havzası'na ait 20 adet morfometrik ve hidrolojik-jeolojik parametre kullanılarak 93 adet alt havza için erozyon duyarlılığına göre önceliklendirme gerçekleştirilmiştir. Önceliklendirme işlemleri sırasında doğal kaynaklı değişimler ve insan kaynaklı değişimler dikkate alınmamıştır. Erozyon duyarlılığına göre 93 adet alt havzanın COPRAS ve TOPSIS yöntemlerine göre önceliklendirilmesi yapılmış ve elde edilen sonuçlara ait erozyon duyarlılık haritaları Harita 6.11 - Harita 6.12'de verilmiştir.

COPRAS yöntemi sonuçlarına göre Çizelge 6.8 incelendiğinde erozyon açısından en duyarlı alt havzalar Havza 4'te yer alan B7 ve B9, Havza 6'da bulunan C2 ve C18 havzalarıdır. Erozyona en az duyarlı alt havzalar Havza 6'daki C44 ve C61'dir. COPRAS yöntemiyle elde edilmiş toplamda beş adet erozyona duyarlılık haritasında AHP-U ve entropi

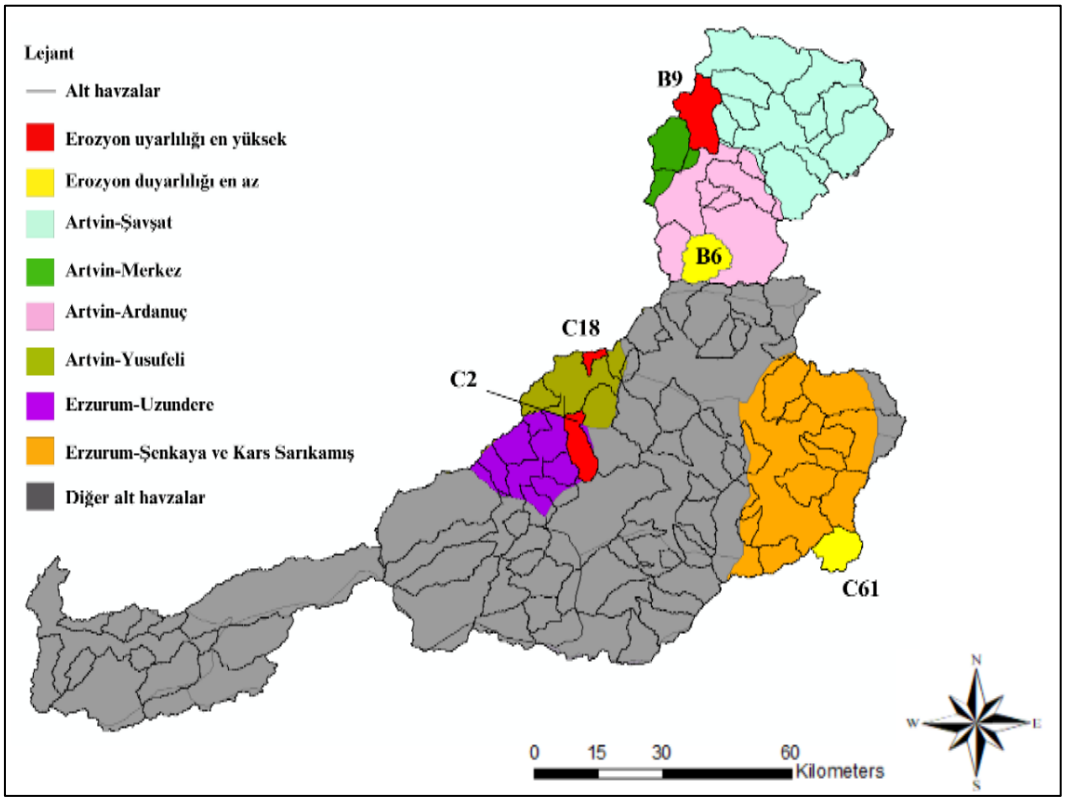
yöntemlerinin ortak olarak buldukları C18, erozyon duyarlılığı en yüksek olan alt havzadır. Bu alt havza Artvin-Yusufeli'nde yer almaktadır. Erozyon duyarlılığı en düşük olan alt havza beş yöntem içerisinden üç yöntem sonucuna göre C61, iki yöntem sonucuna göre ise C44 olarak belirlenmiştir. C61 alt havzası Erzurum-Şenkaya ve Kars-Sarıkamış kesişiminde, C44 alt havzası Erzurum-Narman'da bulunmaktadır.

TOPSIS yöntemi sonuçlarına bakıldığında ise erozyon açısından en duyarlılığı en yüksek olan alt havza COPRAS yönteminde de olduğu gibi alt havza C18 olarak belirlenmiştir. C18 havzası üç yöntem sonucunda da erozyon duyarlılığı en yüksek alt havza olarak elde edilmiş, ancak AHP-N yönteminde C2 ve temel bileşen analizinde B9 alt havzaları erozyon duyarlılığı en yüksek alt havzalar olarak bulunmuştur. TOPSIS yöntemine göre en az duyarlı alt havza ise dört yöntem sonucunda C61 ve sadece AHP-N yöntemi sonucunda B6 olarak belirlenmiştir. B6 alt havzası Artvin-Ardanuç'ta yer aldığı görülmektedir.

COPRAS ve TOPSIS yöntemleriyle elde edilen 10 adet erozyona duyarlılık haritaları değerlendirildiğinde en az duyarlı alt havzanın yedi yöntem için de C61 alt havzası olduğu tespit edilmiştir. On yöntem içerisinden yedi yöntemin aynı sonucu vermesi en az duyarlı alt havzanın yüksek oranda doğru olarak belirlendiğini gösterir. C61 alt havzasının konumuna bakıldığında Erzurum-Şenkaya ve Kars-Sarıkamış kesişim bölgesinde, Çoruh Havzası'nın en doğusunda yer aldığı görülmektedir. Kalan üç metodun ikisinde ise C44 alt havzasının erozyon duyarlılığı en düşük olan alt havza olduğu sonucuna varılmıştır. Sadece AHP-N ile yapılan TOPSIS yönteminde B6 alt havzası erozyon duyarlılığı en az alt havza olarak değerlendirilmiştir. Dolayısıyla çalışmada kriter ağırlıklarının belirlenmesinin çok önemli olduğu görülmektedir. Fakat bu sonucun yanlış olduğu kanısına varmak da hatalı olabilir. Erozyon duyarlılığı en yüksek olan alt havzalar için erozyon duyarlılık haritaları değerlendirildiğinde on yöntem içerisinden beş yöntem sonucu C18, ikişer yöntem sonucu C2 ve B9 alt havzaları tespit edilmiştir. Sadece eşit ağırlıkla yapılan COPRAS yönteminde B7 alt havzası erozyon duyarlılığı en yüksek alt havza olarak değerlendirilmiştir. Fakat bu sonucun yanlış olduğu kanısına varmak da hatalı olabilir. Çünkü diğer yöntemler de B7 alt havzasının önceliklendirilmesi 86, 89 ve 92 olarak belirlenmiştir. 93 adet alt havza içinde B7'nin bu şekilde önceliklendirilmesi havzanın erozyon duyarlılığının yüksek olduğunu göstermektedir.



Harita 6.11. COPRAS yöntemine göre en düşük ve en yüksek erozyon duyarlılılığı olan alt havzalar



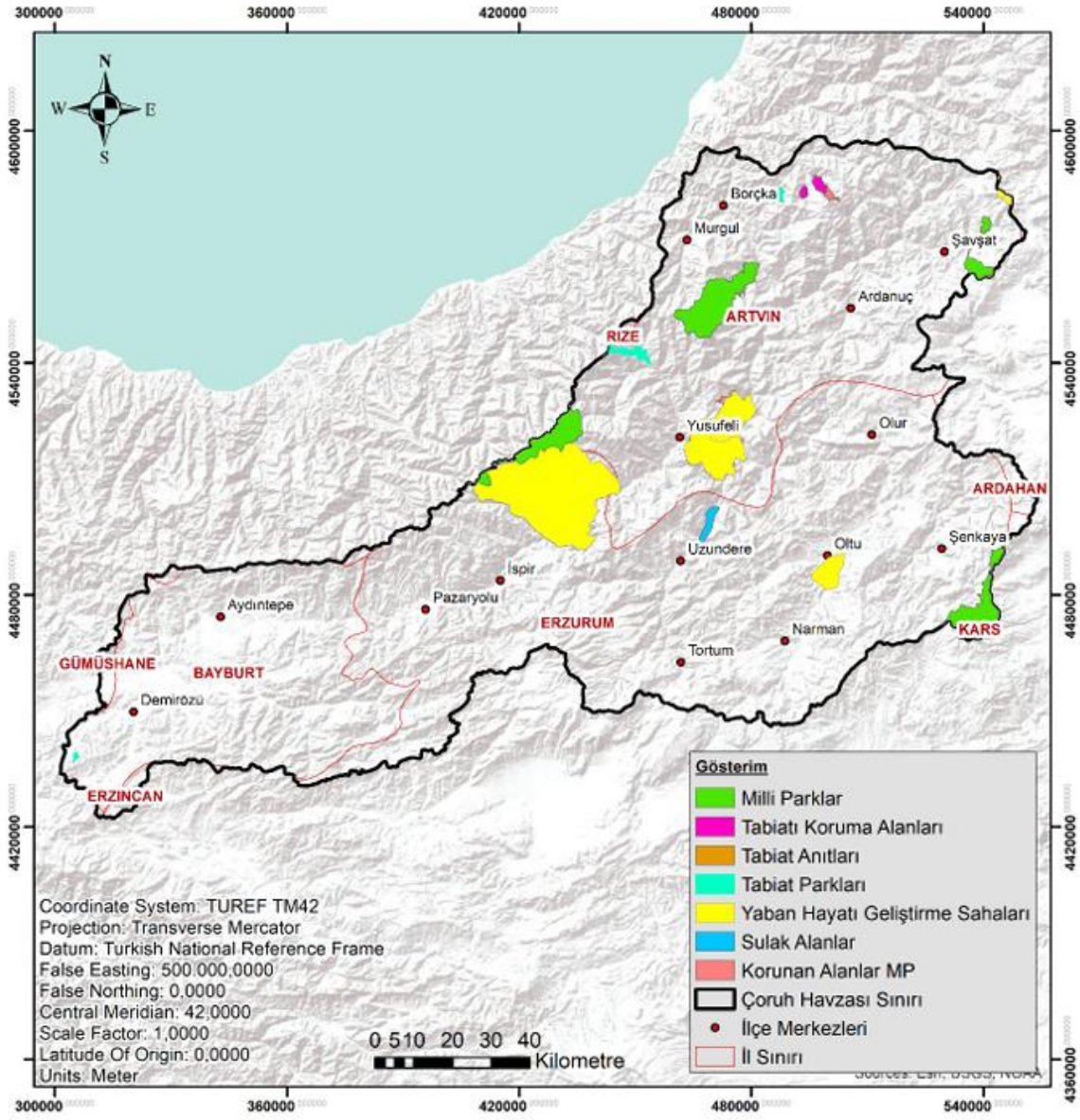
Harita 6.12. TOPSIS yöntemine göre en düşük ve en yüksek erozyon duyarlılılığı olan alt havzalar

Çoruh Havzası'na ait alt havzalarda erozyon duyarlılık çalışması için uygulanan iki yöntemin sonucunda elde edilen en yüksek erozyon duyarlılığına sahip C18 alt havzası Artvin ili Yusufeli ilçesinde yer almaktadır. Tüfekçioğlu ve Yavuz (2016), Yusufeli mikro havzasında erozyon duyarlılık haritasının oluşturulması çalışmasında ortalama toprak verimini 3,6 t ha^{-1} $yıl^{-1}$ olarak tahmin etmiştir. Yusufeli ilçesinin yoğun yağış alması ve dik yamaçlara sahip olması sebebiyle erozyon duyarlılığının yüksek olduğu belirlenmiştir. Erozyona karşı toprak koruma önlemleri için öncelik sırası bu bölgede çok önemlidir. Havzadaki barajların ekonomik ömürleri, tarımsal faaliyetler, sel ve taşkın potansiyeli açısından acil önlem alınmalıdır.

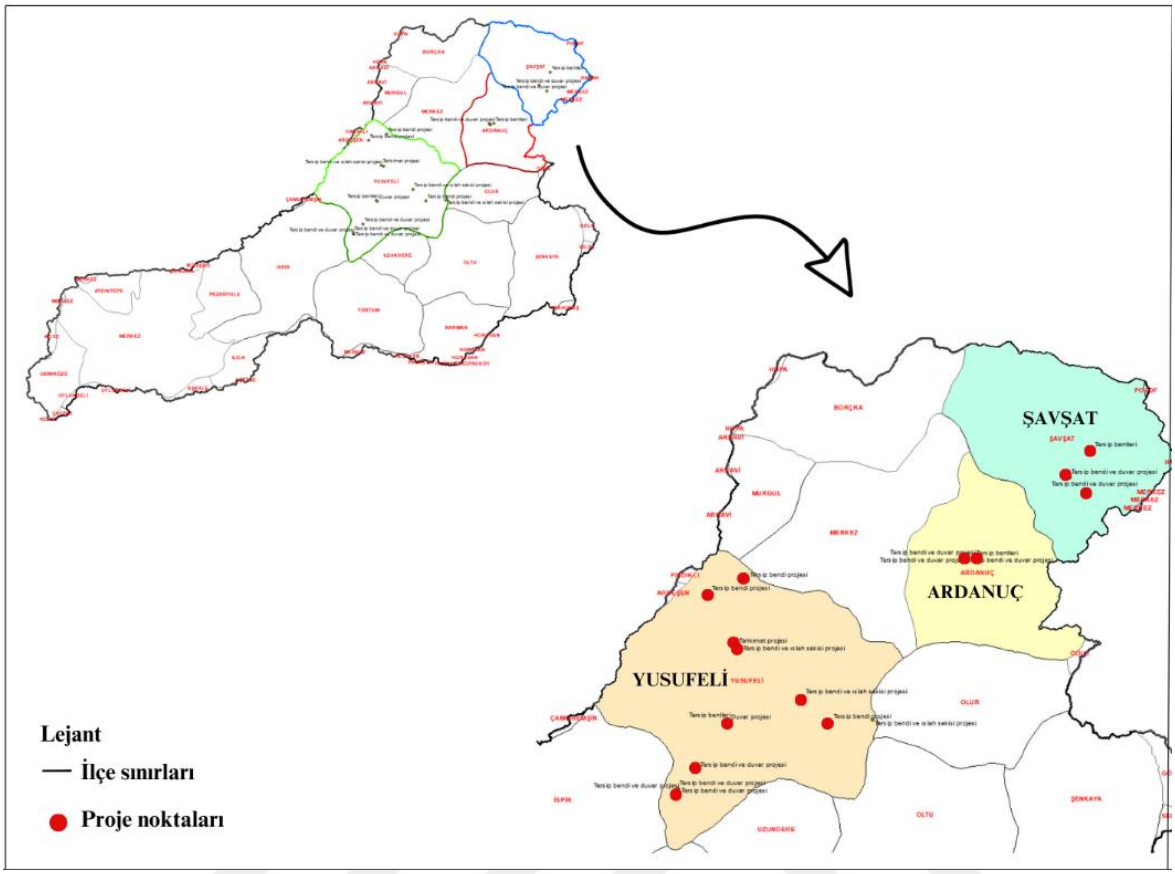
Çoruh Havzası için yedi yöntemin ortak olarak erozyon duyarlılığı en az olarak belirlediği alt havza C61'in konumu, Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü'nün Çoruh Havzası Kuraklık Yönetim Planı Taslak Raporu'nda yer alan Çoruh Havzası korunan alanlar haritasında milli park olarak yer aldığı görülmektedir (Harita 6.13). Yani C61'in bulunduğu bölgede Sarıkamış-Allahuekber Dağları Milli Park'ı mevcuttur. 2004 yılında milli park ilan edilen bu bölgede sarıçam ağacının yurdumuzda yayılış gösterdiği en yoğun alandır. Ayrıca yaban hayatı türleri açısından da bu yöre sarıçam ormanları bakımından da zengindir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023). Bu bölgenin yaklaşık 20 yıldır milli park ilan edilmesi tarım ve hayvancılık gibi insan faaliyetlerinden korunmasına ve doğal bitki örtüsünün gelişmesine katkı sağlamıştır. Bu sayede toprağın organik madde içeriği artarak su tutma kapasitesi artmış ve yüzeysel akış minimum seviyede meydana gelmiştir. Çalışmalar sonucunda erozyona en az duyarlı alt havzanın milli park olan bir bölgede olması hem çalışma soncuunda elde edilen haritaların kullanılabilirliğini hem de milli park olarak koruma altına alınmasının erozyon duyarlılığı açısından etkisini ortaya koymaktadır.

Elde edilen sonuçların geçerliliğini ayrıca bölgede erozyona karşı alınan önlemlerle karşılaştırma yapılarak da değerlendirilmiştir. Devlet Su İşleri (DSİ) Çoruh Projeleri 26. Bölge Müdürlüğü erozyon ve taşkın önleme uygulamalarından sınırlı olarak elde edilen veriler Harita 6.14'te verilmiştir. Haritada Artvin iline ait Şavşat, Ardanuç ve Yusufeli ilçelerinde yer alan tersip bendi ve duvar projeleri uygulama noktaları görülmektedir. Tersip bentleri rüsubatı mansaba gitmeden depolamak amacıyla inşa edilen enine yapılardır (Şekil 6.2). DSİ verilerinde uygulanan projeler çalışma alanımızdaki alt havzalarımız ile çakıştığında, Ardanuç ilçesinde B4, Şavşat ilçesinde B17 ve B18 ortak noktalar arasında yer

almaktadır. Ancak Havza 6 ve Havza 9'da uygulama haritası verileri olmadığından sonuçlar doğrudan değerlendirilememiştir.



Harita 6.13. Çoruh Havzası korunan alanlar (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023)



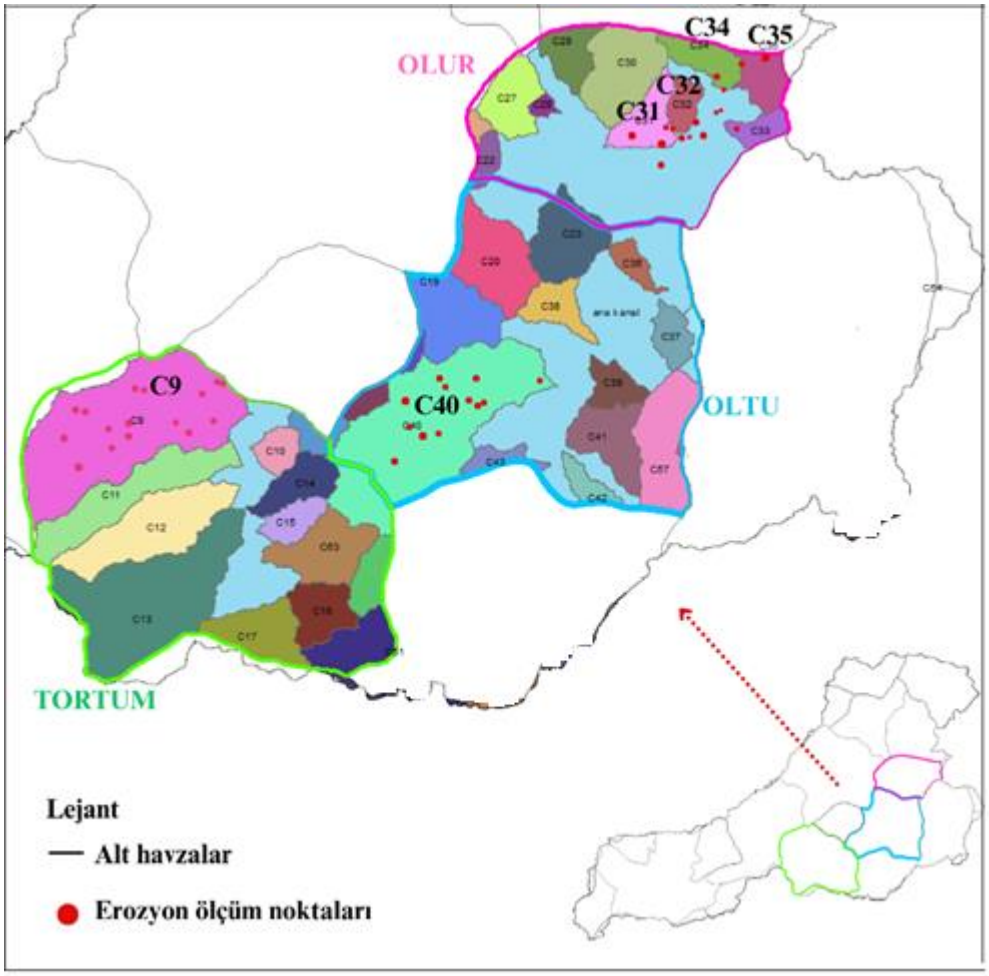
Harita 6.14. DSİ Çoruh projeleri erozyon ve taşkın önleme uygulama noktaları



Şekil 6.2. Tersip bendi-Artvin (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020)

Ayrıca 2012-2018 yılları arasında ÇEM ile JICA arasında Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi kapsamında yapılmış olan erozyon ölçüm noktaları Harita 6.15'te

verilmiştir. Harita 6.15'te yer alan kurulan sedimantasyon istasyonlarının sonuçları RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) modeli ile karşılaştırılmıştır (OGM, 2023).



Harita 6.15. Oltu, Olur ve Tortum mikro havzaları oyuntu ve kanal erozyonu ölçüm alanları

Buna göre ölçüm alanları çalışma sonucunda erozyon duyarlılığının yüksek olduğu alt havzalarda veya bunlara komşu alt havzalarda yapıldığı tespit edilmiştir. Yani uygulamada da bu alanların erozyon duyarlılığı yüksek olarak değerlendirilmektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye coğrafi konumu ve topoğrafik yapısı nedeniyle farklı bölgelerinde farklı tip ve derecede erozyona duyarlı alanları olan bir ülkedir. İklim kaynaklı yağışın etkisi ve bitki örtüsünün tahrip olması başlıca erozyon nedenlerindendir. Diğer yandan kuraklığın çok görüldüğü bölgelerde de, bitki örtüsünün az ve erozyonu önlemede yetersiz düzeyde olmasından kaynaklı erozyondan fazla etkilenen alanları içermektedir. Arazinin eğimi, uzunluğu ve toprağın ana materyal yapısı erozyon şiddetini etkileyen faktörler arasındadır. Doğal etki faktörlerinin dışında insan kaynaklı yanlış arazi kullanımı, aşırı otlatma veya bilinçsiz endüstrileşme gibi etkenler de erozyona sebep olabilmektedir. Biriken sediment kaynaklı barajların ömrünün kısalması, verimli toprak alanlarının azalması ve su kalitesinin bozulması erozyon sonuçlarını ortaya koymaktadır. Erozyon ile verimli toprağın kaybedilmesi ile gıda üretimi açısından da tehlike doğmaktadır.

Türkiye'nin ikinci sırada erozyona en çok maruz kalan bölge olması, eğimli arazi yapısı, yoğun akarsu ağı ve şiddetli yağışları nedeniyle Çoruh Havzası, erozyon duyarlılığı yüksek bir bölge olarak öne çıkmaktadır. Harita 2.1'de verilen Türkiye su erozyonu haritasında Çoruh Havzası kapsamında incelendiğinde büyük bir kısmının özellikle orta ($5<A\leq10$ ton ha^{-1} $yıl^{-1}$) , şiddetli ($10<A\leq20$ ton ha^{-1} $yıl^{-1}$) ve çok şiddetli ($A>20$ ton ha^{-1} $yıl^{-1}$) erozyon sınıflarına hâkim olduğu görülmektedir. Bu nedenle bölgedeki tarımsal alanlar ve biyolojik çeşitlilik ciddi tehdit altındadır. Hidroelektrik santrallerdeki sedimantasyon sorunları ve tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilirliği açısından havzanın detaylı bir şekilde incelenmesi gereklidir. Ancak havzada, erozyonla ilgili çalışmaların sınırlı olması, bu bölgenin araştırılması için önemli bir fırsat sunmaktadır. Bu nedenle çalışma kapsamında yeterli arazi ölçümü olmayan havzalarda uygulanabilecek yöntemlerle Çoruh Havzası erozyon duyarlılığı açısından önceliklendirilmiştir. Böylece Çoruh Havzası'na ait erozyon duyarlılık haritaları ile erozyona karşı alınacak tedbirlerin konumları ve yapılabilecek çalışmalarla ilgili kılavuz olabilecek bir çalışmadır.

Çalışma kapsamında erozyonu etkileyen morfometrik parametrelerin belirlenebilmesi için CBS sisteminin desteği ile öncelikle ArcGIS 10.8 programında SYM modeli güncellenerek akarsu ağı oluşturulmuş, akarsu ağı mertebelendirildikten sonra, ana kanalların sınırları belirlenerek alt havzalar oluşturulmuştur. Her bir alt havzanın alanı, çevresi ve uzunluğu gibi temel geometrik özellikleri belirlenmiş ve bu temel özelliklerin yardımı ile on yedi adet

morfometrik parametre ve üç adet jeolojik-hidrolojik parametre incelenmiştir. Çatallanma oranı, uzunluk oranı, tekstür oranı, yüzeysel akış uzunluğu, ortalama akarsu uzunluğu, drenaj yoğunluğu, akarsu sıklığı, infiltrasyon değeri, dairesellik oranı, uzunluk oranı, gravelius indeksi, form faktörü, havza rölyefi, rölyef oranı, engebelilik değeri, ortalama eğim, Melton engebelilik değeri, ortalama topoğrafik nemlilik indeksi, akarsu gücü indeksi ve arazi engebelilik indeksleri ÇKKV yöntemleri ile parametrelerin erozyona etkileri ağırlıklandırılmıştır. Elde edilen ağırlık değerleri en çok tercih edilen COPRAS ve TOPSIS yöntemlerinde kullanılarak önceliklendirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu iki yöntem kendi aralarında değerlendirilmiş, erozyon duyarlılığı 93 alt havza içerisinden en yüksek olan alt havzanın Artvin ili içerisinde yer alan C18 olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmada Çoruh Havzası için kullanılan yöntem sonuçları değerlendirildiğinde erozyona duyarlı bölgelerin ortak olarak Havza 4 ve Havza 6'da bulunan alt havzalarda daha yoğunlukta olduğu görülmüştür. Konum olarak Artvin ve Erzurum ilinin batı kesimlerinin erozyon açısından daha duyarlı bölgeler olduğu tespit edilmiştir. Erozyon açısından az duyarlı alanlar incelendiğinde ise iki yöntemde de ortak Havza 9 havzasının batı ve güney taraflarının daha az duyarlı alanların yoğunlukta olduğu görülmüştür. Bu bölge Bayburt ilinde yer almaktadır.

Çalışmada parametre ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılmış olan yöntemler değerlendirildiğinde ise her ne kadar uzman görüşlerinin daha iyi sonuç verebileceği düşünülse de bireysel farklılıklar nedeniyle bu yöntemin de entropi yöntemiyle çok benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Dolayısıyla çalışmaların daha pratik olması açısından entropi yöntemi de güvenli bir şekilde tercih edilebilir. Özellikle havzada herhangi bir ölçüm veya gözlem bulunmaması durumunda bu çalışma kapsamındaki analizlerin yapılmasının yerel yönetimler ve ilgili kurumların alması gereken önemler açısından gerçekçi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bundan sonra benzer nitelikteki çalışmalarda öncelikle daha küçük çözünürlüklü haritalar kullanılması önerilmektedir. Bu çalışma kapsamında 80x80m çözünürlüklü ağlar kullanılmıştır. 10x10m çözünürlüklü haritaların havzanın topoğrafyasını ve akarsu kollarını daha detaylı ifade edeceği düşünülmektedir. Ayrıca erozyon duyarlılığı etkisi olduğu bilinen yağış özellikleri, bitki örtüsü-arazi kullanımı ve insan etkilerinin de analizlere dâhil edilmesi erozyonu etkileyen tüm faktörlerin değerlendirilmesini sağlayacaktır. Erozyona duyarlı

alanların belirlenmesinden sonra bu alanlarda uygulanabilecek önlemlerin değerlendirilmesi ve ekonomik analizler yardımıyla alınacak önleme karar verilmesi sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

Ada, M. ve Çakır, H. (2022). TOPSIS ve AHP çok kriterli karar verme yöntemlerinin personel seçim sürecine uygulanması. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 6(2), 186-200.

Altaf, S., Meraj, G. ve Romshoo, S. A. (2014). Morphometry and land cover based multi-criteria analysis for assessing the soil erosion susceptibility of the western Himalayan watershed. *Environmental monitoring and assessment*, 186, 8391-8412.

Ameri, A. A., Pourghasemi, H. R. ve Cerda, A. (2018). Erodibility prioritization of sub-watersheds using morphometric parameters analysis and its mapping: A comparison among TOPSIS, VIKOR, SAW, and CF multi-criteria decision making models. *Science of the Total Environment*, 613, 1385-1400.

Arabameri, A., Tiefenbacher, J. P., Blaschke, T., Pradhan, B. ve Tien Bui, D. (2020). Morphometric analysis for soil erosion susceptibility mapping using novel GIS-based ensemble model. *Remote Sensing*, 12(5), 874.

Arefin, R., Seker, D. Z., Hore, R. ve Meshram, S. G. (2024). GIS and remotely sensed data-based morphometric elements analysis for determination of Bengal Basin evolution. *Environment, Development and Sustainability*, 26(2), 3423-3456.

Avcı, V. ve Sunkar, M. (2015). Giresun'da sel ve taşkın oluşumuna neden olan Aksu Çayı ve Batlama Deresi havzalarının morfometrik analizleri. *Coğrafya Dergisi*, (30), 91-119.

Balcı, A. N. ve Öztan, Y. (1987). *Sel kontrolü* (Genel Yayın No. 113, Fakülte Yayın No. 12). Karadeniz Üniversitesi Orman Fakültesi, Karadeniz Üniversitesi Basımevi.

Bartlett, M. S. (1950). Tests of significance in factor analysis. *British journal of psychology*, 3, 77-85

Batan, M. ve Toprak, Z. F. (2015). Küresel iklim değişikliğinin olumlu etkileri ve bu etkilerin iklim değişikliğine uyum kapsamında değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 6(2), 93-102.

Beven, K. J. ve Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Journal*, 24(1), 43-69.

Çakırgöz, S. E. (2024). *Karkarçay Havzası'nın (Karabağ-Azerbaycan) mühendislik jeomorfolojisi*, Doktora tezi. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Çalışkan, E. ve Acar, H. H. (2003). Orman yollarında hidrolik sanat yapılarının incelenmesi. *Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, 1(2), 137-143.

Çıtak, S. ve Kılıç, O. M. (2023). Yukarı Çekerek Havzası'nın coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak jeomorfometrik analizi. *Multidisipliner Yaklaşımlarla Coğrafya,* 1(4), 262-279.

Çimen, H. (2019). *Farklı arazi kullanımı ve toprak tiplerinin infiltrasyon üzerindeki etkisinin belirlenmesi,* Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı, Şanlıurfa.

Çoruhlu, E. N. ve Akıncı, H. (2021). Godrahav Havzasının (Artvin) erozyon duyarlılığının jeo-çevresel faktörler kullanılarak değerlendirilmesi. *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi*, 2(2), 106-119.

Danacıoğlu, Ş. ve Tağıl, Ş. (2017). Bakırçay Havzası'nda RUSLE modeli kullanarak erozyon riskinin değerlendirmesi. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 20(37), 1-18.

Dregne, H. E. ve Chou, N. T. (1992). Global desertification: Dimensions and costs. Dregne, H. E. (Ed.). *Degradation and restoration of arid lands* içinde, Texas: Texas Tech University, 249-282.

Dursun, İ. ve Babalık, A. A. (2023). Burdur Gölü Havzasındaki morfometrik parametrelerin ve erozyon durumunun değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 24(1), 25-38.

Elbaşı, E. ve Özdemir, H. (2018). Marmara Denizi akarsu havzalarının morfometrik analizi. *Coğrafya Dergisi*, (36), 63-84.

Ertuğrul, İ. ve Öztaş, T. (2016). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Bir Uygulama. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 25*(2), 165–186.

Fakıoğlu, S. ve Kağnıcıoğlu, N. (2009). *Doğu Karadeniz ve Çoruh havzalarının hidroelektrik enerji üretimi açısından değerlendirilmesi.* Doğu Karadeniz Bölgesi Hidroelektrik Enerji Potansiyeli ve Bunun Ülke Enerji Politikalarındaki Yeri (Forum 2009), Trabzon, Türkiye, 40-50.

Faniran, A. (1968). The index of drainage intensity: a provisional new drainage factor. *Australian Journal of Science*, 31(9), 326-330.

Gajbhiye, S., Mishra, S. K. ve Pandey, A. (2014). Prioritizing erosion-prone area through morphometric analysis: an RS and GIS perspective. *Applied Water Science*, 4, 51-61.

Gebre, T., Kibru, T., Tesfaye, S. ve Taye, G. (2015). Analysis of watershed attributes for water resources management using GIS: The case of Chelekot micro-watershed, Tigray, Ethiopia. *Journal of Geographic Information System, 7*(2), 177-190.

Görür, A. E. ve Karadeniz, C. (2018). Morfometrik parametrelerin havza hidrolojisi bakımından değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 19(4), 447-454.

Gravelius, H. (1914). *Flusskunde*. Goschen Verlagshandlung, Berlin, 42-45.

Güney, Y. (2018). Frekans oranı yönteminin erozyon duyarlılık analizinde kullanımı: Selendi Çayı Havzası (Manisa) örneği. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 6(2), 73-85

Horton, R. E. (1932). Drainage-basin characteristics. *Transactions, American geophysical union*, *13*(1), 350-361.

Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological society of America bulletin*, *56*(3), 275-370.

Hwang, C. L. ve Yoon, K. P. (1981). *Multiple decision attribute making: Methods and applications.* New York: Springer-Verlag, 58, 191.

İmamoğlu, A. (2020). Alaca Çayı Havzası erozyon durumunun morfometrik ölçümler ile ilişkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 868-878.

İnternet: Tarım ve Orman Bakanlığı, (2024). *5 Aralık Dünya Toprak Günü.* Web: https://kirsehir.tarimorman.gov.tr/Sayfalar/Detay.aspx?TermStoreId=368e785b-af33-487d-a98d-c11d5495130b&TermSetId=9761b1fd-ed49-459a-8180-dcf31e387eb8&TermId=306e04c2-e81a-4417-98de-1629743f4065&UrlSuffix=351/5-Aralik-Dunya-Toprak-Gunu#:~:text=Toprak%20organik%20maddece%20zengin%20ve,tabakas%C4%B1nda%20tar%C4%B1m%20yap%C4%B1lmas%C4%B1%20m%C3%BCmk%C3%BCn%20de%C4%9Fildir. , Son Erişim Tarihi: 09.05.2024

İnternet: Perşembe Ziraat Odası, (2024). *Toprağı oluşturan faktörler nelerdir?* Web: http://persembe.ziraatodasi.org.tr/topragi-olusturan-faktorler-nelerdir, Son Erişim Tarihi: 13.05.2024

İnternet: Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, (2023). *Çölleşme İstatistikleri.* Web: https://cem.csb.gov.tr/2023-i-111517, Son Erişim Tarihi: 17.04.2024

İnternet: Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, (2023). *Çölleşme ve Erozyon Projeleri: Model Projeler*. Web: https://cem.csb.gov.tr/collesme-ve-erozyon-projeleri-model-projeler-i-103694, Son Erişim Tarihi: 25.07.2024

İnternet: Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, (2023). *Çoruh Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi: Erozyon Nihai İzleme Raporu.* Web: https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane-sitesi/CNHRP/Erozyon_CBS_Nihai_izleme_Raporu.pdf, Son Erişim Tarihi: 13.05.2024

İnternet: Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, (2019). *Çoruh ve Doğu Karadeniz Havzaları Taşkın Yönetim Planının Hazırlanması Projesi*. Web: https://webdosya.csb.gov.tr/db/scd/icerikler/coruhhavzas-_tkbr-20191007142317.pdf, Son Erişim Tarihi: 12.09.2024

İnternet: Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, (2023). *Aras ve Çoruh Havzaları Kuraklık Yönetim Planlarının Hazırlanması Projesi.* Web: https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/%C3%87ORUH%20HAVZASI%20S%C3%87D%2030.11.2023/%C3%87oruh%20Havzas%C4%B1%20S%C3%87D%20Taslak%20Raporu.pdf, Son Erişim Tarihi: 26.07.2024

İnternet: Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, (2020). *Çoruh Havzası Taşkın Yönetim Planı.* Web: https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Ta%C5%9Fk%C4%B1n%20Y%C3%B6netim%20Planlar%C4%B1%2026.12.2022/CORUH_HAVZASI_Taskin_Yonetim_Plani_Yonetici_Ozeti.pdf, Son Erişim Tarihi: 20.11.2024

İnternet: Jenness, J. S., (2006). *Topographic Position Index (TPI) tools for ArcGIS: A plug-in to calculate topographic position.* Jenness Enterprises. Web: http://www.jennessent.com/, Son Erişim Tarihi: 13.11.2024

İnternet: SpiceLogic. (t.y.). *AHP Consistency Ratio and Transitivity Rule*. Web: https://www.spicelogic.com/docs/ahpsoftware/intro/ahp-consistency-ratio-transitivity-rule-388, Son Erişim Tarihi: 16.11.2024

İnternet: TEMA Vakfı. (2024). *İklim Değişikliği ve Erozyon.* Web: https://cdn-tema.mncdn.com/Uploads/Cms/iklim-degisikligi-ve-erozyon.pdf, Son Erişim Tarihi: 24.02.2025

İnternet: Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, (2024). *Türkiye Su Erozyonu.* Web: https://ucbp.tucbs.gov.tr/harita-goruntuleyici, Son Erişim Tarihi: 12.02.2025

Kamuş, A. O. ve Dutucu, A. A. (2023). Hidromorfometrik Analizlerle Esmahanım Deresi Havzasının taşkın duyarlılığının belirlenmesi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, (11), 1-21.

Keller, E. A. ve Pinter, N. (1996). *Active tectonics* (Cilt 338). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 15.

Kılıç, O. M., Duman, E. ve Ersayın, K. (2018). *Çekerek Havzası'nın USLE yöntemine dayalı erozyon modellemesi.* TÜCAUM 30. Yıl Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, 967-973

Koçyiğit, M. B., Akay, H. ve Babaiban, E. (2021). Temel bileşen analizi kullanılarak Doğu Akdeniz Havzası ani taşkın potansiyelinin morfometrik yaklaşımla değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(3), 1669-1686.

Magesh, N. S., Jitheshlal, K. V., Chandrasekar, N. ve Jini, K. V. (2013). Geographical information system-based morphometric analysis of Bharathapuzha river basin, Kerala, India. *Applied Water Science*, 3, 467-477.

Malik, M. I., Bhat, M. S. ve Kuchay, N. A. (2011). Watershed based drainage morphometric analysis of Lidder catchment in Kashmir valley using geographical information system. *Recent Research in Science and Technology*, 3(4), 118-126.

Malik, A., Kumar, A., Kushwaha, D. P., Kisi, O., Salih, S. Q., Al-Ansari, N. ve Yaseen, Z. M. (2019). The implementation of a hybrid model for hilly sub-watershed prioritization using morphometric variables: Case study in India. *Water*, 11(6), 1138.

Melton, M. A. (1957). *An analysis of the relations among elements of climate, surface properties, and geomorphology* (Cilt 11). New York: Department of Geology, Columbia University.

Melton, M.A. (1965). The Geomorphic and Palaeoclimatic Significance of Alluvial Deposits in Southern Arizona. *Journal of Geology*, *73*, 1–38.

Moore, I. D., Grayson, R. B. ve Ladson, A. R. (1991). Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological processes*, 5(1), 3-30.

Morgan, R. P. C. (1995). *Soil erosion and conservation* (İkinci Baskı). Harlow: Longman Group Limited, 42.

Mushtaq, F., Farooq, M., Tirkey, A. S. ve Sheikh, B. A. (2023). Analytic hierarchy process (AHP) based soil erosion susceptibility mapping in northwestern Himalayas: a case study of central Kashmir Province. *Conservation*, 3(1), 32-52.

Özdemir, H. and Bird, D. (2009). Evaluation of morphometric parameters of drainage networks derived from topographic maps and DEM in point of floods. *Environmental Geology*, 56, 1405-1415.

Özdemir, H. (2011). Havza morfometrisi ve taşkınlar, fiziki coğrafya araştırmaları. *Sistematik ve Bölgesel (Ed., Ekinci, D.)*, Türk Coğrafya Kurumu Yayınları, İstanbul, 507–526.

Öztürk, K. (2002). Küresel İklim Değişikliği Ve Türkiye'ye Olası Etkileri. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi,* 22(1).

Pareta, K. ve Pareta, U. (2011). Quantitative morphometric analysis of a watershed of Yamuna basin, India using ASTER (DEM) data and GIS. *International journal of Geomatics and Geosciences*, 2(1), 248-269.

Patel, D. P., Gajjar, C. A. ve Srivastava, P. K. (2013). Prioritization of Malesari mini-watersheds through morphometric analysis: a remote sensing and GIS perspective. *Environmental earth sciences*, 69(8), 2643-2656.

Pekal, K. (2009). *Artvin Çoruh Nehri su havzasında erozyon kontrolü amaçlı ağaçlandırma çalışmalarının değerlendirilmesi: Sümbüllü ve Salkımlı yöresi ağaçlandırma çalışmaları*, Yüksek Lisans Tezi. Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Peltier, L. C. (1962). Area sampling for terrain analysis. *The Professional Geographer*, *14*(2), 24-28.

Pournader, M., Ahmadi, H., Feiznia, S., Karimi, H. ve Peirovan, H. R. (2018). Spatial prediction of soil erosion susceptibility: an evaluation of the maximum entropy model. *Earth Science Informatics*, 11, 389-401.

Reddy, G. P. O., Maji, A. K. ve Gajbhiye, K. S. (2004). Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India–a remote sensing and GIS approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *6*(1), 1-16.

Renard, K. G., Laflen, J. M., Foster, G. R. ve McCool, D. K. (2017). The revised universal soil loss equation. In *Soil Erosion Research Methods,* 105-126.

Riley, S. J., DeGloria, S. D. ve Elliot, R. (1999). Index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences*, 5(1-4), 23-27.

Sadhasivam, N., Bhardwaj, A., Pourghasemi, H. R. ve Kamaraj, N. P. (2020). Morphometric attributes-based soil erosion susceptibility mapping in Dnyanganga watershed of India using individual and ensemble models. *Environmental Earth Sciences,* 79, 1-28.

Sassolas-Serrayet, T., Cattin, R. ve Ferry, M. (2018). The shape of watersheds. *Nature communications*, 9(1), 3791.

Satıcı, S. (2021). Farkli Normalizasyon Tekniklerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerine Etkisi: Waspas Örneği. *İşletme Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 350-361.

Saaty, T.L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology,* 15 (3), 234-281.

Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation.* McGraw-Hill International Book Company.

Sadhasivam, N., Bhardwaj, A., Pourghasemi, H. R. ve Kamaraj, N. P. (2020). Morphometric attributes-based soil erosion susceptibility mapping in Dnyanganga watershed of India using individual and ensemble models. *Environmental Earth Sciences, 79,* 1-28.

Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal, 27*(3), 379–423

Singh, W.R., Barman, S. ve Tirkey, G. (2021). Morphometric analysis and watershed prioritization in relation to soil erosion in Dudhnai Watershed. *Applied Water Science*, 11(9),151.

Schumm, S. A. (1954). The relation of drainage basin relief to sediment loss. *International Association of Scientific Hydrology*, 36(1), 216-219.

Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological society of America bulletin*, 67(5), 597-646.

Smith, K. G. (1950). Erozyonel topografyanın dokusunu derecelendirme standartları. *Amerikan Bilim Dergisi*, 248(9), 655–668.

Strahler, A. N. (1953). Revisions of Horton's quantitative factors in erosional terrain. *Transactions American Geophysical Union*, 34, 345.

Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 38(6), 913-920.

Strahler, A. N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: Chow VT (ed) Handbook of Applied Hydrology. *McGraw-Hill*, 439–476.

Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, (2020). *Burdur Havzası Nehir Havza Yönetim Planı Nihai Raporu.* Ankara, 2-13.

Sunkar, M. ve Avcı, V. (2015). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) ile Hasret Dağı ve çevresinin (Elazığ) erozyon duyarlılık analizi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 13(1), 17-40.

Taysun, K. Ş., Taysun, A. ve Özden, N. (2019). Manisa-Akselendi Ovasında rüzgar erozyonu etkisi altındaki arazilerin potansiyel toprak kaybı değerleri ve rüzgarla aşınabilme grupları (WEG) Dağılımı. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 14(1), 58-67.

Turan, İ. D. ve Uzun, A. (2021). Analitik hiyerarşik süreç ve CBS teknikleri kullanılarak Çorum Çayı havzasında toprak erozyonu riskinin modellenmesi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, (6), 41-55.

Tüfekçioğlu, M. ve Yavuz, M. (2016). Yusufeli mikro havzasında (Artvin) yüzey erozyonu toprak kaybının tahmin edilmesi ve erozyon risk haritasının oluşturulması. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17(2), 44-53.

Uygurtürk, H. ve Korkmaz, T. (2012). Finansal performansın TOPSIS çok kriterli karar verme yöntemi ile belirlenmesi: Ana metal sanayi işletmeleri üzerine bir uygulama. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 7(2), 95-115.

Zavoianu, I. (1985). *Morphometry of Drainage Basins (Developments in Water Science).* Elsevier, Amsterdam, 20, 3-9

Zengin, M., Özer, S. ve Özgül, M. (2009). Çoruh havzası (İspir-Pazaryolu) erozyon durumunun CBS ile belirlenmesi ve çözüm önerileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 40(1), 9-19

Zhang, H., Loáiciga, H. A., Feng, L., He, J. ve Du, Q. (2021). Setting the flow accumulation threshold based on environmental and morphologic features to extract river networks from digital elevation models. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(3), 186.

Wischmeier, W. H. ve Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning* (Agriculture Handbook No. 537). Washington, Department of Agriculture, Science and Education Administratio, 20-25.

EKLER

EK-1. Havzalara ait temel fiziksel büyüklüklere ait veriler

Çizelge 1.1. Havza 4 ve alt havzalarına ait temel fiziksel büyüklüklere ait veriler

Havza No	Havza Çevresi (P)	Havza Alanı (A)	Havza Maksimum Yükseklik (H_{max})	Havza Minimum Yükseklik (H_{min})	Havza Ortalama Yükseklik (H_{ort})	Havza Uzunluğu (L_b)	Toplam Akarsu Uzunluğu (L_u)	En uzun Akış Uzunluğu (L)
	km	km^2	m	m	m	m	km	m
ÇORUH HAVZASI	1 271,07	20 097,34	3 883	50	1 897,49	137 871,60	78 014,35	401 098,38
HAVZA 4	309,52	2 277,65	3 357	222	1 741,99	32 947,75	8 841,85	85 849,24
B2	26,86	27,27	1 956	459	1 230,87	8 513,17	108,83	10 490,56
B3	26,58	22,46	1 974	465	1 268,41	9 823,34	95,19	10 490,56
B4	85,82	270,35	3 046	473	1 949,31	17 969,56	1 100,10	33 854,59
B5	43,12	78,15	2 825	740	1 739,59	11 992,26	304,70	16 572,79
B6	44,42	104,87	2 815	726	1 853,09	11 172,08	409,32	15 409,96
B7	41,84	93,79	3 169	363	1 661,05	13 280,38	369,69	16 608,31
B8	53,91	97,74	3 056	510	1 634,64	18 224,75	393,79	24 730,57
B9	59,06	127,20	3 357	563	2 066,77	19 775,59	502,84	24 197,72
B10	27,66	38,48	2 484	619	1 655,01	10 807,13	139,19	13 869,63
B11	28,44	36,44	1 904	623	1 332,95	9 553,78	134,59	11 796,43
B12	29,34	43,01	2 509	718	1 619,62	11 394,07	153,23	13 834,11
B13	42,39	82,03	3 008	789	1 883,50	16 268,63	310,00	21 619,13
B14	84,88	243,57	3 029	882	2 021,87	17 254,70	887,66	34 887,16
B15	65,20	142,66	3 129	876	1 843,75	19 303,65	546,03	26 875,77
B16	65,26	172,04	3 051	774	1 933,22	17 883,71	676,41	25 392,74
B17	30,20	34,14	2 671	877	1 721,43	10 832,59	138,58	13 781,53
B18	33,22	42,28	2 078	946	1 515,35	10 814,35	162,62	14 228,66
B19	48,00	85,92	3 076	1 088	1 930,65	14 355,04	333,89	20 500,81
B20	66,21	164,81	2 975	1 088	2 057,47	14 599,70	631,13	22 505,34

Çizelge 1.2. Havza 6 ve alt havzalarına ait temel fiziksel büyüklüklere ait veriler

Havza No	Havza Çevresi (P)	Havza Alanı (A)	Havza Maksimum Yükseklik (H_{max})	Havza Minimum Yükseklik (H_{min})	Havza Ortalama Yükseklik (H_{ort})	Havza Uzunluğu (L_b)	Toplam Akarsu Uzunluğu (L_u)	En uzun Akış Uzunluğu (L)
	km	km^2	m	m	m	m	km	m
HAVZA 6	570,71	6 963,60	3 229	515	1 972,50	68 212,60	26 860,64	176 645,00
C2	68,04	78,90	3 037	726	1 783,77	20 947,62	352,02	19 675,23
C3	29,30	24,52	2 754	1 022	1 844,18	7 359,27	104,49	8 163,49
C4	39,22	44,64	2 926	1 010	1 755,31	9 729,09	171,23	11 583,76
C5	48,83	66,61	2 856	1 028	1 880,39	9 855,35	254,72	13 820,38
C6	43,07	49,19	2 749	1 052	1 936,51	10 409,97	184,72	15 222,39
C7	41,46	50,26	2 707	1 094	1 984,05	10 360,61	186,51	14 886,10
C8	44,03	44,08	3 062	1 129	1 972,90	12 097,52	163,13	15 388,17
C9	131,12	371,05	3 229	1 169	2 283,26	31 849,90	1 417,80	43 416,63
C10	28,02	27,48	2 656	1 202	1 988,68	6 294,82	100,98	8 950,23
C11	100,38	127,45	3 221	1 239	2 365,31	29 842,42	493,95	35 947,21
C12	84,05	138,40	3 188	1 280	2 337,48	26 656,01	536,72	31 471,63
C13	114,47	292,15	3 195	1 325	2 346,51	25 707,70	1 129,20	37 263,44
C14	46,27	49,76	2 666	1 337	2 145,45	12 644,31	182,08	17 033,65

Çizelge 1.2. (devam) Havza 6 ve alt havzalarına ait temel fiziksel büyüklüklere ait veriler

Havza No	Havza Çevresi (P)	Havza Alanı (A)	Havza Maksimum Yükseklik (H_{max})	Havza Minimum Yükseklik (H_{min})	Havza Ortalama Yükseklik (H_{ort})	Havza Uzunluğu (L_b)	Toplam Akarsu Uzunluğu (L_u)	En uzun Akış Uzunluğu (L)
	km	km^2	m	m	m	m	km	m
C15	35,54	33,03	2 557	1 435	1 973,34	9 980,72	115,09	13 350,50
C16	45,47	55,25	2 915	1 645	19 154,55	10 115,50	202,89	14 222,97
C17	61,32	86,92	2 983	1 641	2 245,31	10 777,70	336,52	19 131,96
C18	29,78	15,94	2 775	677	1 618,98	6 613,51	69,04	9 922,18
C19	88,21	171,13	3 032	701	1 819,71	20 587,56	669,34	34 837,94
C20	65,32	103,73	2 825	720	1 761,14	17 430,20	416,22	21 812,37
C21	39,06	35,32	2 833	756	1 806,58	10 164,50	144,25	13 168,62
C22	27,06	22,38	2 542	745	1 386,26	8 489,68	89,48	10 150,95
C23	52,51	84,85	2 517	887	1 726,78	13 080,21	315,25	16 415,06
C24	46,75	47,84	2 380	1 081	1 606,71	12 369,12	185,92	16 229,85
C25	67,72	102,95	2 552	1 120	1 701,43	17 853,51	400,89	22 405,87
C26	35,70	26,81	2 551	1 153	1 651,99	9 611,24	101,60	11 708,34
C27	47,55	60,78	2 831	974	1 964,71	10 196,34	259,80	13 908,47
C28	16,01	7,59	2 467	1 118	1 743,55	4 248,71	30,48	5 057,72
C29	55,87	63,27	2 861	1 189	2 008,03	12 444,58	244,23	17 635,19
C30	64,68	116,18	2 933	1 182	1 962,00	15 307,40	439,46	20 572,81
C31	48,51	51,27	2 578	1 091	1 726,22	9 236,40	207,63	12 961,63
C32	29,30	23,55	2 440	1 102	1 726,20	7 231,50	98,74	9 504,88
C33	31,70	27,79	2 688	1 259	1 970,32	7 389,25	107,84	10 943,38
C34	52,19	70,71	2 832	1 438	2 273,87	11 311,27	290,17	17 687,77
C35	69,96	114,08	2 784	1 459	2 271,77	11 298,14	441,46	21 116,08
C36	33,78	21,43	2 404	1 140	1 722,69	9 419,90	80,96	11 261,21
C37	34,58	32,01	2 786	1 142	1 705,52	9 387,75	122,79	12 288,09
C38	45,15	41,32	2 336	1 225	1 873,13	11 127,28	149,08	14 902,20
C39	38,58	33,95	2 699	1 239	1 707,75	9 202,44	134,38	10 822,13
C40	137,04	370,57	2 982	1 293	2 041,66	30 621,89	1 406,44	45 879,64
C41	57,63	69,99	2 763	1 400	1 888,77	11 943,20	259,98	15 655,79
C42	45,47	42,26	2 816	1 418	2 014,14	12 913,26	161,21	16 147,45
C43	40,98	31,21	2 781	1 444	2 083,82	11 620,40	112,11	13 905,15
C44	21,93	16,83	2 269	1 487	1 754,01	5 843,69	64,00	7 415,59
C45	41,78	31,01	2 917	1 518	2 151,40	11 713,20	110,44	14 455,07
C46	64,36	96,46	2 815	1 546	2 115,80	16 751,40	348,20	20 639,13
C47	89,65	178,40	2 917	1 541	2 156,87	22 127,95	687,47	32 291,52
C48	52,03	55,59	2 672	1 556	2 110,98	13 875,85	211,30	18 259,48
C49	61,00	75,12	2 736	1 598	2 238,62	14 479,05	276,82	20 238,89
C50	53,63	72,61	2 613	1 633	2 228,65	13 317,77	267,45	19.247,52
C51	101,82	195,57	2 917	1 637	2 290,03	23 675,20	731,45	33 632,89
C52	45,15	39,14	2 808	1 230	2 087,26	13 748,70	143,99	16 379,54
C53	47,23	53,80	2 585	1 250	1 978,08	11 040,50	202,96	18 413,89
C54	90,77	160,57	3 115	1 404	2 284,28	17 618,15	622,75	29 257,77
C55	92,70	183,25	2 608	1 452	2 108,89	16 624,57	643,33	26 743,15
C56	61,48	92,36	2 668	1 349	2 157,40	14 664,90	368,28	19 625,97
C57	100,70	184,05	2 887	1 427	2 326,49	21 757,90	682,09	36 714,53
C58	36,18	28,42	2 690	1 468	2 072,31	9 706,28	102,59	11 503,71
C59	45,31	56,66	2 732	1 630	2 286,54	9 350,19	212,69	17 422,51
C60	66,12	99,34	3 092	1 994	2 456,18	15 151,96	375,38	18 983,24
C61	53,47	84,02	2 832	1 996	2 468,17	10 097,44	324,24	19 038,19
C62	43,23	47,13	2 747	930	1 806,64	9 809,11	180,01	14 609,48
C63	61,64	83,40	2 528	1500	2 033,24	15 554,83	297,21	19 534,55

Çizelge 1.3. Havza 9 ve alt havzalarına ait temel fiziksel büyüklüklere ait veriler

Havza No	Havza Çevresi (P)	Havza Alanı (A)	Havza Maksimum Yükseklik (H_{max})	Havza Minimum Yükseklik (H_{min})	Havza Ortalama Yükseklik (H_{ort})	Havza Uzunluğu (L_b)	Toplam Akarsu Uzunluğu (L_u)	En uzun Akış Uzunluğu (L)
	km	km^2	m	m	m	m	km	m
HAVZA 9	390,30	1 822,93	3 178	1 482	2 171,25	75 706,82	6 794,87	128 978,56
A2	45,95	33,22	2 556	1 565	2 033,91	13 641,00	113,42	16 710,14
A3	68,68	90,03	2 635	1 579	2 073,75	17 591,30	337,98	24 420,79
A4	40,66	37,28	2 608	1 622	2 053,99	11 122,32	139,08	13 742,69
A5	110,95	247,88	2 929	1 649	2 159,96	18 411,10	912,14	25 945,02
A6	42,11	44,40	2 545	1 666	2 103,16	8 924,31	161,93	12 356,77
A7	36,82	29,48	2 549	1 674	2 125,65	10 141,15	100,68	12 489,39
A8	28,34	25,75	2 864	1 688	2 106,12	6 077,04	105,20	9 756,40
A9	36,18	27,68	2 777	1 715	2 203,64	8 984,35	102,92	11 128,58
A10	68,20	119,03	2 939	1 758	2 211,04	17 983,01	453,16	28 178,31
A11	176,43	499,97	3 178	1 758	2 326,63	47 969,76	1 836,73	67 708,88
A12	129,52	217,15	3 043	1 810	2 248,34	21 209,48	813,49	34 237,78
A13	74,92	151,89	3 053	1 819	2 263,61	20 027,50	575,87	24 881,65

EK-2. Havzalara ait farklı mertebelerdeki akarsu sayıları ve uzunlukları

Çizelge 2.1. Havza 4 ve alt havzalarına ait farklı mertebelerdeki akarsu sayıları

Havza No	Farklı mertebelerdeki akarsu sayıları								
	Nu1	Nu2	Nu3	Nu4	Nu5	Nu6	Nu7	Nu8	Nu9
ÇORUH HAVZASI	140 155	28 941	6 107	1 339	295	65	13	3	1
HAVZA 4	15 884	3 303	695	164	35	9	3	1	
B2	195	41	9	3	1	-	-	-	
B3	156	33	7	2	1	-	-	-	
B4	1 906	379	80	18	4	1	-	-	
B5	526	106	23	6	2	1	-	-	
B6	726	143	30	9	2	1		-	
B7	676	142	37	7	1	-	-	-	
B8	687	154	34	10	1	-	-	-	
B9	916	198	39	10	2	1	-	-	
B10	281	52	15	2	1	-	-	-	
B11	251	54	12	3	1	-	-	-	
B12	290	75	16	4	1	-	-	-	
B13	575	114	24	7	1	-	-	-	
B14	1 705	345	73	14	4	1	-	-	
B15	973	200	45	8	2	1	-	-	
B16	1 216	265	48	14	4	1	-	-	
B17	249	56	11	2	1	-	-	-	
B18	286	59	13	4	1	-	-	-	
B19	571	129	30	8	2	1	-	-	
B20	1 147	240	54	12	3	1	-	-	

Çizelge 2.2. Havza 4 ve alt havzalarına ait farklı mertebelerdeki akarsu uzunlukları

Havza No	Farklı mertebelerdeki akarsu uzunlukları (m)								
	Lu1	Lu2	Lu3	Lu4	Lu5	Lu6	Lu7	Lu8	Lu9
ÇORUH HAVZASI	46 843 850,3	16 316 094,4	7 711.825,7	3 745 946,9	1 779 730,9	849 226,4	416 183,5	282 887,2	105 716,0
HAVZA 4	5 302 281,7	1 832 947,8	881 248,7	445 992,7	208 233,1	89 957,2	48 762,9	36 562,2	
B2	65 553,8	22 449,3	10 234,7	5 536,9	5 054,8	-	-	-	
B3	55 416,7	23 118,7	7 377,8	4 000,0	5 275,0	-	-	-	
B4	652 725,0	237 363,4	119 101,8	49 024,8	18 387,4	23 495,7	-	-	
B5	181 492,5	60 630,8	34 147,5	18 731,7	8 151,4	1 544,4	-	-	
B6	252 702,6	87 222,8	30 880,7	24 986,4	10 278,9	3 253,2	-	-	
B7	235 831,3	66 407,4	33 288,2	23 513,9	10 550,3	-	-	-	
B8	230 085,2	83 885,6	38 406,6	25 149,7	16 181,6	-	-	-	
B9	309 424,4	104 339,6	47 198,3	22 706,5	6 798,3	11 984,4	-	-	
B10	84 120,4	25 554,1	15 631,1	5 086,8	8 571,4	-	-	-	
B11	80 873,5	26 965,2	16 964,4	4 648,6	5 005,8	-	-	-	
B12	91 950,2	29 475,3	16 113,4	1.098,2	5 568,8	-	-	-	
B13	186 630,3	63 181,1	30 911,4	15 700,6	13 390,3	-	-	-	
B14	527 022,4	183 905,9	89 991,9	54 615,2	15 229,4	16 653,0	-	-	
B15	320 746,9	114 041,5	65 033,5	24 648,0	16 784,8	4 656,5	-	-	
B16	404 612,2	130 627,3	69 151,2	43 285,5	12 249,2	16 307,0	-	-	
B17	83 765,6	29 627,5	13 267,0	5 124,6	6 570,4	-	-	-	
B18	96 241,7	32 364,3	16 094,6	9 972,6	7 717,2	-	-	-	
B19	196 533,5	70 738,2	27 824,7	19 179,8	12 884,4	6 576,5	-	-	
B20	381 552,2	117 209,2	72 118,6	34 496,5	21 797,8	3 776,5	-	-	

Çizelge 2.3. Havza 6 ve alt havzalarına ait farklı mertebelerdeki akarsu sayıları

Havza No	Farklı mertebelerdeki akarsu sayıları							
	Nu1	Nu2	Nu3	Nu4	Nu5	Nu6	Nu7	Nu8
HAVZA 6	47 315	9 818	2 073	463	100	23	6	1
C2	547	123	26	5	1	-	-	-
C3	180	37	7	3	1	-	-	-
C4	286	65	16	2	1	-	-	-
C5	435	85	18	5	1	-	-	-
C6	339	79	18	5	1	-	-	-
C7	339	69	13	5	1	-	-	-
C8	286	63	11	2	1	-	-	-
C9	2 602	546	108	22	6	1	-	-
C10	195	40	9	2	1	-	-	-
C11	933	203	38	6	1	-	-	-
C12	946	207	34	6	1	-	-	-
C13	2 092	431	87	18	4	1	-	-
C14	356	78	19	3	1	-	-	-
C15	219	47	7	2	1	-	-	-
C16	369	76	18	6	2	1	-	-
C17	591	118	27	7	2	1	-	-
C18	113	24	5	2	1	-	-	-
C19	1 206	253	54	14	1	-	-	-
C20	715	157	37	8	2	1	-	-
C21	250	60	11	3	1	-	-	-
C22	151	32	6	2	1	-	-	-
C23	552	113	30	7	2	1	-	-
C24	313	59	14	4	1	-	-	-
C25	663	146	32	8	1	-	-	-
C26	184	38	7	2	1	-	-	-
C27	425	99	26	8	3	1	-	-
C28	52	10	4	2	1	-	-	-
C29	451	88	21	4	2	1	-	-
C30	774	160	36	10	2	1	-	-
C31	327	74	18	4	2	1	-	-
C32	178	39	9	3	1	-	-	-
C33	192	40	10	2	1	-	-	-
C34	487	113	22	7	2	1	-	-
C35	756	155	33	9	3	1	-	-
C36	139	31	6	2	1	-	-	-
C37	215	42	8	3	1	-	-	-
C38	285	57	11	2	1	-	-	-
C39	236	48	12	3	1	-	-	-
C40	2 537	546	118	25	5	1	-	-
C41	453	88	17	4	2	1	-	-
C42	282	53	11	2	1	-	-	-
C43	210	43	12	2	1	-	-	-
C44	104	21	8	3	1	-	-	-
C45	201	37	6	2	1	-	-	-
C46	617	120	28	7	1	-	-	-
C47	1 216	261	55	13	3	1	-	-
C48	364	67	13	4	1	-	-	-
C49	492	98	19	5	1	-	-	-
C50	501	106	27	7	2	1	-	-
C51	1 359	280	58	15	3	1	-	-
C52	281	49	10	2	1	-	-	-
C53	384	71	14	3	1	-	-	-
C54	1 123	225	47	9	3	1	-	-
C55	1 180	238	52	10	3	1	-	-
C56	626	112	26	6	1	-	-	-
C57	1 229	257	57	14	2	1	-	-
C58	191	35	9	3	1	-	-	-
C59	384	74	20	5	1	-	-	-
C60	695	147	28	7	2	1	-	-
C61	545	123	26	6	2	1	-	-
C62	332	66	17	5	2	1	-	-
C63	548	118	27	4	1	-	-	-

Çizelge 2.4. Havza 6 ve alt havzalarına ait farklı mertebelerdeki akarsu uzunlukları

Havzalar	Farklı mertebelerdeki akarsu uzunlukları (m)							
	Lu1	Lu2	Lu3	Lu4	Lu5	Lu6	Lu7	Lu8
HAVZA 6	15 876 848,6	5 757 539,4	2 674 675,8	1 414 480,8	587 086,65	250 102,26	225 281,63	87 018,34
C2	215 415,90	78 830,85	29 652,50	7 374,24	20 882,69	-	-	-
C3	65 893,75	21 118,54	9 624,30	4 543,36	3 354,52	-	-	-
C4	100 583,97	37 891,51	17 355,29	10 455,65	5 017,70	-	-	-
C5	150 564,71	57 032,45	29 938,32	9 666,90	7 639,58	-	-	-
C6	106 640,92	46 307,68	13 879,81	6 377,39	11 613,13	-	-	-
C7	115 809,66	39 893,43	13 717,33	7 116,51	10 055,21	-	-	-
C8	96 949,76	39 079,29	13 248,62	5 986,17	7 940,67	-	-	-
C9	860 828,59	295 815,29	129 355,37	84 274,10	19 492,25	28 735,11	-	-
C10	61 759,59	22 114,92	7 275,00	8 662,58	1 214,85	-	-	-
C11	300 855,68	106 959,57	42 037,23	17 821,23	26 531,71	-	-	-
C12	325 793,26	107 634,14	42 516,56	46 600,79	14 425,25	-	-	-
C13	683 093,86	213 241,40	114 667,57	71 218,45	25 863,58	21 732,46	-	-
C14	106 936,13	39 800,98	16 013,99	8 279,54	11 142,65	-	-	-
C15	65 392,80	28 207,79	9 925,30	9 008,41	2 622,39	-	-	-
C16	117 120,67	44 718,79	17 342,50	14 082,94	3 327,40	6 395,95	-	-
C17	199 615,75	67 591,30	35 597,75	22 461,14	4 739,36	6 655,36	-	-
C18	42 838,34	15 752,15	2 146,90	4 665,66	3 668,16	-	-	-
C19	413 627,96	133 877,53	67 757,68	25 476,41	28 885,67	-	-	-
C20	250 371,57	87 767,93	42 544,60	20 649,95	5 244,19	9 810,63	-	-
C21	89 417,93	27 258,82	12 671,26	7 177,25	7 784,26	-	-	-
C22	57 272,37	19 295,44	4 648,39	5 571,57	2 729,56	-	-	-
C23	187 129,63	62 153,77	37 336,11	17 286,62	2 671,57	8 819,91	-	-
C24	106 427,55	41 110,67	17 536,46	13 110,74	7 816,57	-	-	-
C25	229 713,76	81 254,74	46 816,37	28 210,23	15 076,39	-	-	-
C26	57 622,66	20 935,19	14 230,30	4 512,81	4 346,29	-	-	-
C27	158 677,90	55 353,99	19 316,59	16 066,91	4 375,38	6 105,60	-	-
C28	15 021,77	10 484,99	2 255,48	1 819,41	915,80	-	-	-
C29	149 469,86	49 526,13	23 428,46	10 883,25	2 737,63	8 314,22	-	-
C30	245 522,89	102 891,46	47 847,19	19 997,25	21 560,15	1 844,56	-	-
C31	123 431,19	47 747,48	19 036,93	12 481,48	2 649,65	2 349,90	-	-
C32	57 060,78	17 450,63	13 168,75	8 890,15	2 208,78	-	-	-
C33	62 493,58	27 393,88	9 163,29	5 885,18	2 954,16	-	-	-
C34	171 833,67	64 098,71	27 787,38	12 277,43	5 487,94	8 811,63	-	-
C35	253 447,50	104 303,14	43 245,43	25 155,26	5 660,59	9 861,37	-	-
C36	48 753,88	17 436,77	2 639,24	7 368,35	4 796,36	-	-	-
C37	71 515,61	24 747,30	12 149,44	8 721,72	5 703,55	-	-	-
C38	85 374,65	34 135,86	13 449,28	10 330,33	5 859,83	-	-	-
C39	76 899,57	28 950,29	17 137,82	8 474,86	2 972,73	-	-	-
C40	822 244,30	308 173,64	144 638,70	81 091,24	26 336,42	24 609,22	-	-
C41	148 740,90	58 865,69	28 311,86	16 366,77	6 323,53	1 500,44	-	-
C42	96 000,32	26 256,91	23 388,39	11 173,79	4 456,40	-	-	-
C43	61 175,28	27 480,89	10 343,75	8 583,73	4 592,64	-	-	-
C44	33 734,13	13 408,52	9 731,66	5 566,20	1 585,82	-	-	-
C45	67 041,29	18 505,94	11 222,43	8 714,69	5 003,49	-	-	-
C46	187 994,18	81 775,63	43 262,28	22 319,88	13 010,21	-	-	-
C47	396 734,40	157 134,46	54 920,66	38 484,84	29 264,26	11 253,96	-	-
C48	125 291,21	46 487,47	18 036,41	12 923,44	8 653,40	-	-	-

Çizelge 2.4. (devam) Havza 6 ve alt havzalarına ait farklı mertebelerdeki akarsu uzunlukları

Havzalar	Farklı mertebelerdeki akarsu uzunlukları (m)							
	Lu1	Lu2	Lu3	Lu4	Lu5	Lu6	Lu7	Lu8
C49	166 355,39	57 657,59	25 586,56	16 112,62	11 229,30	-	-	-
C50	157 285,00	54 852,28	24 325,76	15 363,44	4 975,15	10 799,40	-	-
C51	432 917,39	153 438,91	79 843,45	27 602,79	23 731,47	14 315,97	-	-
C52	86 610,17	32 741,92	11 971,61	9 703,37	3 028,86	-	-	-
C53	117 202,52	48 558,90	15 001,68	13 250,27	9 063,59	-	-	-
C54	381 976,44	124 058,34	57 774,72	25 813,91	18 452,19	14 970,20	-	-
C55	366 711,89	156 382,57	59 323,82	35 795,56	12 710,78	12 734,16	-	-
C56	224 352,52	68 120,49	44 385,47	19 003,85	12 568,37	-	-	-
C57	400 160,18	152 721,35	65 681,79	24 774,48	16 062,14	23 006,13	-	-
C58	61 358,12	20 768,99	10 605,67	3 328,64	6 574,41	-	-	-
C59	125 678,43	43 781,48	21 105,12	13 989,90	8 249,63	-	-	-
C60	225 845,29	76 357,52	36 381,73	24 093,59	8 513,72	4 368,96	-	-
C61	187 554,92	71 331,82	33 860,56	18 631,72	10 721,68	2 277,27	-	-
C62	108 279,95	35 751,37	18 604,39	4 636,58	5 661,25	7 188,71	-	-
C63	170 373,98	66 401,69	30 569,14	22 357,52	7 655,21	-	-	-

Çizelge 2.5. Havza 9 ve alt havzalarına ait farklı mertebelerdeki akarsu sayıları

Havza No	Farklı mertebelerdeki akarsu sayıları						
	Nu1	Nu2	Nu3	Nu4	Nu5	Nu6	Nu7
HAVZA 9	12 582	2 613	571	123	25	5	1
A2	214	44	9	2	1	-	-
A3	619	128	28	6	1	-	-
A4	259	50	9	2	1	-	-
A5	1 692	349	75	15	4	1	-
A6	295	58	9	2	1	-	-
A7	207	46	12	2	1	-	-
A8	170	38	10	3	1	-	-
A9	204	49	9	2	1	-	-
A10	822	174	36	9	2	1	-
A11	3 432	700	158	37	7	1	-
A12	1 495	293	66	19	3	1	-
A13	1 088	225	49	12	2	1	-

Çizelge 2.6. Havza 9 ve alt havzalarına ait farklı mertebelerdeki akarsu uzunlukları

Havza No	Farklı mertebelerdeki akarsu uzunlukları (m)						
	Lu1	Lu2	Lu3	Lu4	Lu5	Lu6	Lu7
HAVZA 9	4 048 443,99	1 437 727,15	711 160,12	276 422,63	159 659,30	99 189,11	65 776,67
A2	66 550,57	26 779,20	7 579,99	2 863,83	9 644,74	-	-
A3	205 990,45	70 704,11	30 155,12	14 189,87	16 940,43	-	-
A4	87 301,23	30 090,68	11 271,31	4 392,26	6 024,90	-	-
A5	549 475,96	187 695,84	99 129,75	33 521,70	27 418,61	14 902,34	-
A6	96 615,93	35 340,77	17 685,94	10 317,43	1 966,92	-	-
A7	58 840,77	19 966,98	10 703,16	1 658,77	9 509,81	-	-
A8	59 601,61	23 373,98	14 017,41	4 502,37	3 704,39	-	-
A9	64 285,93	20 350,54	7 140,73	10 067,45	1 073,54	-	-
A10	264 352,34	101 463,72	54 092,10	11 630,90	6 398,66	15 223,65	-
A11	1 092 077,15	385 554,14	190 921,56	84 404,80	40 490,83	43 279,30	-
A12	480 590,16	183 664,65	79 738,37	27 575,82	32 686,97	9 232,68	-
A13	341 339,31	119 051,53	62 549,75	34 773,21	2 722,83	15 433,75	-

EK-3. Havzalara ait morfometrik parametre değerleri

Çizelge 3.1. Havza 4 ve alt havzalarına ait çizgisel morfometrik özellikler

Havza No	Ağırlıklandırılmış Çatallanma Oranı	Ağırlıklandırılmış Akarsu Uzunluk Oranı	Tekstür Oranı	Yüzeysel Akış Uzunluğu	Ortalama Akarsu Uzunluğu
	R_{bwm} (-)	R_{lwm} (-)	T (1/km)	L_o (km)	L_{um} (km)
ÇORUH HAVZASI	4,81	2,54	110,27	0,13	0,44
HAVZA 4	4,78	2,54	51,32	0,13	0,44
B2	4,63	2,51	7,26	0,13	0,44
B3	4,65	2,40	5,87	0,12	0,48
B4	4,96	2,48	22,21	0,12	0,46
B5	4,83	2,59	12,20	0,13	0,46
B6	4,95	2,69	16,34	0,13	0,45
B7	4,64	2,90	16,16	0,13	0,43
B8	4,49	2,38	12,74	0,12	0,44
B9	4,67	2,66	15,51	0,13	0,43
B10	5,16	2,70	10,16	0,14	0,40
B11	4,58	2,63	8,83	0,14	0,42
B12	4,03	2,55	9,89	0,14	0,40
B13	4,96	2,52	13,57	0,13	0,43
B14	4,90	2,53	20,09	0,14	0,41
B15	4,81	2,49	14,92	0,13	0,44
B16	4,69	2,61	18,63	0,13	0,44
B17	4,57	2,54	8,25	0,12	0,43
B18	4,73	2,47	8,61	0,13	0,45
B19	4,36	2,47	11,90	0,13	0,45
B20	4,70	2,73	17,32	0,13	0,43

Çizelge 3.2. Havza 6 ve alt havzalarına ait çizgisel morfometrik özellikler

Havza No	Ağırlıklandırılmış Çatallanma Oranı	Ağırlıklandırılmış Akarsu Uzunluk Oranı	Tekstür Oranı	Yüzeysel Akış Uzunluğu	Ortalama Akarsu Uzunluğu
	R_{bwm} (-)	R_{lwm} (-)	T (1/km)	L_o (km)	L_{um} (km)
HAVZA 6	4,79	2,48	82,91	0,13	0,45
C2	4,53	2,67	8,04	0,11	0,50
C3	4,81	2,72	6,14	0,12	0,46
C4	4,47	2,39	7,29	0,13	0,46
C5	5,00	2,44	8,91	0,13	0,47
C6	4,29	2,41	7,87	0,13	0,42
C7	4,90	2,67	8,18	0,13	0,44
C8	4,75	2,46	6,50	0,14	0,45
C9	4,81	2,63	19,84	0,13	0,43
C10	4,76	2,93	6,96	0,14	0,41
C11	4,78	2,57	9,29	0,13	0,42
C12	4,86	2,69	11,26	0,13	0,45

Çizelge 3.2. (devam) Havza 6 ve alt havzalarına ait çizgisel morfometrik özellikler

Havza No	Ağırlıklandırılmış Çatallanma Oranı	Ağırlıklandırılmış Akarsu Uzunluk Oranı	Tekstür Oranı	Yüzeysel Akış Uzunluğu	Ortalama Akarsu Uzunluğu
	R_{bwm} (-)	R_{lwm} (-)	T (1/km)	L_o (km)	L_{um} (km)
C13	4,87	2,60	18,28	0,13	0,43
C14	4,54	2,41	7,69	0,14	0,40
C15	4,94	2,38	6,16	0,14	0,42
C16	4,63	2,47	8,12	0,14	0,43
C17	4,84	2,58	9,64	0,13	0,45
C18	4,59	3,32	3,79	0,12	0,48
C19	4,79	2,66	13,67	0,13	0,44
C20	4,49	2,56	10,95	0,12	0,45
C21	4,37	2,70	6,40	0,12	0,44
C22	4,72	2,96	5,58	0,13	0,47
C23	4,65	2,68	10,51	0,13	0,45
C24	5,05	2,31	6,70	0,13	0,48
C25	4,55	2,34	9,79	0,13	0,47
C26	4,86	2,38	5,15	0,13	0,44
C27	4,12	2,66	8,94	0,12	0,46
C28	4,42	2,36	3,25	0,12	0,44
C29	4,94	2,67	8,07	0,13	0,43
C30	4,72	2,15	11,97	0,13	0,45
C31	4,33	2,52	6,74	0,12	0,49
C32	4,44	2,61	6,08	0,12	0,43
C33	4,65	2,36	6,06	0,13	0,44
C34	4,39	2,44	9,33	0,12	0,46
C35	4,78	2,39	10,81	0,13	0,46
C36	4,51	3,14	4,11	0,13	0,45
C37	5,03	2,40	6,22	0,13	0,46
C38	5,02	2,31	6,31	0,14	0,42
C39	4,71	2,35	6,12	0,13	0,45
C40	4,65	2,40	18,51	0,13	0,44
C41	5,08	2,28	7,86	0,13	0,46
C42	5,22	2,77	6,20	0,13	0,46
C43	4,69	2,18	5,12	0,14	0,42
C44	4,36	2,18	4,74	0,13	0,47
C45	5,44	2,74	4,81	0,14	0,45
C46	4,98	2,11	9,59	0,14	0,45
C47	4,65	2,30	13,56	0,13	0,44
C48	5,31	2,44	7,00	0,13	0,47
C49	5,00	2,50	8,07	0,14	0,45
C50	4,53	2,49	9,34	0,14	0,42
C51	4,81	2,43	13,35	0,13	0,43
C52	5,56	2,55	6,22	0,14	0,42
C53	5,32	2,40	8,13	0,13	0,43
C54	4,95	2,59	12,37	0,13	0,44
C55	4,89	2,30	12,73	0,14	0,43
C56	5,36	2,66	10,18	0,13	0,48
C57	4,72	2,40	12,20	0,13	0,44
C58	5,08	2,57	5,28	0,14	0,43
C59	4,90	2,44	8,48	0,13	0,44
C60	4,77	2,52	10,51	0,13	0,43
C61	4,46	2,29	10,19	0,13	0,46
C62	4,72	2,62	7,68	0,13	0,43
C63	4,67	2,35	8,89	0,14	0,43

Çizelge 3.3. Havza 9 ve alt havzalarına ait çizgisel morfometrik özellikler

Havza No	Ağırlıklandırılmış Çatallanma Oranı	Ağırlıklandırılmış Akarsu Uzunluk Oranı	Tekstür Oranı	Yüzeysel Akış Uzunluğu	Ortalama Akarsu Uzunluğu
	R_{bwm} (-)	R_{lwm} (-)	T (1/km)	L_o (km)	L_{um} (km)
HAVZA 9	4,77	2,51	32,24	0,13	0,43
A2	4,83	2,55	4,66	0,15	0,42
A3	4,79	2,57	9,01	0,13	0,43
A4	5,19	2,70	6,37	0,13	0,43
A5	4,81	2,58	15,25	0,14	0,43
A6	5,26	2,57	7,01	0,14	0,44
A7	4,42	2,79	5,62	0,15	0,38
A8	4,28	2,32	6,00	0,12	0,47
A9	4,38	3,29	5,64	0,13	0,39
A10	4,71	2,54	12,05	0,13	0,43
A11	4,81	2,49	19,45	0,14	0,42
A12	4,94	2,51	11,54	0,13	0,43
A13	4,77	2,92	14,52	0,13	0,42

Çizelge 3.4. Havza 4 ve alt havzalarına ait alansal morfometrik özellikler

Havza No	Drenaj Yoğunluğu	Akarsu Sıklığı	İnfiltrasyon Değeri	Dairesellik Oranı	Uzunluk Oranı	Gravelius İndeks	Form Faktörü
	D_d (1/km)	F_s (1/km^2)	I_f (-)	R_c (-)	R_e (-)	K_g (-)	F (-)
ÇORUH HAVZASI	3,88	8,80	34,17	0,16	0,67	2,53	1,06
HAVZA 4	3,88	8,82	34,25	0,30	0,87	1,83	2,10
B2	3,99	9,13	36,45	0,48	0,69	1,45	0,38
B3	4,24	8,86	37,54	0,40	0,54	1,58	0,23
B4	4,07	8,83	35,94	0,46	0,78	1,47	0,84
B5	3,90	8,50	33,13	0,53	0,83	1,38	0,54
B6	3,90	8,69	33,91	0,67	0,96	1,22	0,84
B7	3,94	9,20	36,27	0,67	0,81	1,22	0,53
B8	4,03	9,06	36,52	0,42	0,60	1,54	0,29
B9	3,95	9,17	36,24	0,46	0,64	1,48	0,33
B10	3,62	9,12	32,99	0,63	0,65	1,26	0,33
B11	3,69	8,81	32,54	0,57	0,70	1,33	0,40
B12	3,56	8,97	31,97	0,63	0,64	1,26	0,33
B13	3,78	8,79	33,22	0,57	0,63	1,32	0,31
B14	3,64	8,79	32,05	0,42	0,75	1,53	0,82
B15	3,83	8,61	32,97	0,42	0,65	1,54	0,38
B16	3,93	9,00	35,38	0,51	0,78	1,40	0,54
B17	4,06	9,34	37,92	0,47	0,60	1,46	0,29
B18	3,85	8,59	33,02	0,48	0,66	1,44	0,36
B19	3,89	8,62	33,51	0,47	0,72	1,46	0,42
B20	3,83	8,84	33,85	0,47	0,69	1,45	0,77

Çizelge 3.5. Havza 6 ve alt havzalarına ait alansal morfometrik özellikler

Havza No	Drenaj Yoğunluğu	Akarsu Sıklığı	İnfiltrasyon Değeri	Dairesellik Oranı	Uzunluk Oranı	Gravelius İndeks	Form Faktörü
	D_d (1/km)	F_s (1/km^2)	I_f (-)	R_c (-)	R_e (-)	K_g (-)	F (-)
HAVZA 6	3,86	8,59	33,12	0,27	0,73	1,93	1,50
C2	4,46	8,90	39,70	0,21	0,48	2,16	0,18
C3	4,26	9,30	39,64	0,36	0,74	1,67	0,45
C4	3,84	8,29	31,79	0,36	0,76	1,66	0,47
C5	3,82	8,17	31,23	0,35	0,79	1,69	0,69
C6	3,76	8,99	33,75	0,33	0,64	1,73	0,45
C7	3,71	8,50	31,53	0,37	0,70	1,65	0,47
C8	3,70	8,24	30,48	0,29	0,58	1,87	0,30
C9	3,82	8,85	33,83	0,27	0,67	1,92	0,37
C10	3,68	8,99	33,04	0,44	0,86	1,51	0,69
C11	3,88	9,27	35,91	0,16	0,42	2,51	0,14
C12	3,88	8,63	33,45	0,25	0,50	2,02	0,19
C13	3,87	9,01	34,83	0,28	0,65	1,89	0,44
C14	3,66	9,18	33,61	0,29	0,62	1,85	0,31
C15	3,48	8,36	29,11	0,33	0,64	1,74	0,33
C16	3,67	8,54	31,37	0,34	0,81	1,73	0,54
C17	3,87	8,58	33,23	0,29	0,81	1,86	0,75
C18	4,33	9,10	39,39	0,23	0,59	2,10	0,36
C19	3,91	8,93	34,92	0,28	0,68	1,90	0,40
C20	4,01	8,87	35,59	0,31	0,66	1,81	0,34
C21	4,08	9,20	37,58	0,29	0,65	1,85	0,34
C22	4,00	8,58	34,30	0,38	0,63	1,61	0,31
C23	3,72	8,31	30,87	0,39	0,79	1,61	0,50
C24	3,89	8,17	31,76	0,28	0,61	1,91	0,31
C25	3,89	8,26	32,15	0,28	0,64	1,88	0,32
C26	3,79	8,65	32,79	0,26	0,60	1,95	0,29
C27	4,27	9,25	39,53	0,34	0,83	1,72	0,58
C28	4,02	9,09	36,54	0,37	0,70	1,64	0,42
C29	3,86	8,96	34,59	0,25	0,70	1,98	0,41
C30	3,78	8,46	32,00	0,35	0,79	1,69	0,50
C31	4,05	8,31	33,65	0,27	0,86	1,91	0,60
C32	4,19	9,76	40,93	0,34	0,73	1,70	0,45
C33	3,88	8,82	34,21	0,35	0,69	1,70	0,51
C34	4,10	8,94	36,67	0,33	0,74	1,75	0,55
C35	3,87	8,39	32,46	0,29	0,81	1,85	0,89
C36	3,78	8,35	31,55	0,24	0,55	2,06	0,24
C37	3,84	8,40	32,23	0,34	0,67	1,72	0,36
C38	3,61	8,62	31,08	0,25	0,62	1,98	0,33
C39	3,96	8,84	34,97	0,29	0,71	1,87	0,40
C40	3,80	8,72	33,10	0,25	0,65	2,01	0,40
C41	3,71	8,07	29,99	0,26	0,78	1,94	0,49
C42	3,81	8,26	31,50	0,26	0,56	1,97	0,25
C43	3,59	8,59	30,86	0,23	0,54	2,07	0,23
C44	3,80	8,14	30,94	0,44	0,77	1,51	0,49
C45	3,56	7,97	28,37	0,22	0,53	2,12	0,23

Çizelge 3.5. (devam) Havza 6 ve alt havzalarına ait alansal morfometrik özellikler

Havza No	Drenaj Yoğunluğu	Akarsu Sıklığı	İnfiltrasyon Değeri	Dairesellik Oranı	Uzunluk Oranı	Gravelius İndeks	Form Faktörü
	D_d (1/km)	F_s (1/km^2)	I_f (-)	R_c (-)	R_e (-)	K_g (-)	F (-)
C46	3,61	8,01	28,93	0,29	0,65	1,85	0,34
C47	3,85	8,68	33,46	0,28	0,64	1,89	0,36
C48	3,80	8,08	30,70	0,26	0,59	1,97	0,29
C49	3,69	8,19	30,17	0,25	0,66	1,99	0,36
C50	3,68	8,87	32,67	0,32	0,71	1,78	0,41
C51	3,74	8,77	32,82	0,24	0,64	2,05	0,35
C52	3,68	8,76	32,24	0,24	0,51	2,04	0,21
C53	3,77	8,79	33,16	0,30	0,68	1,82	0,44
C54	3,88	8,77	34,01	0,24	0,75	2,02	0,52
C55	3,51	8,10	28,43	0,27	0,91	1,93	0,66
C56	3,99	8,35	33,29	0,31	0,73	1,80	0,43
C57	3,71	8,48	31,41	0,23	0,70	2,09	0,39
C58	3,61	8,41	30,36	0,27	0,61	1,91	0,30
C59	3,75	8,54	32,07	0,35	0,77	1,70	0,65
C60	3,78	8,86	33,48	0,29	0,73	1,87	0,43
C61	3,86	8,37	32,29	0,37	0,97	1,65	0,82
C62	3,82	8,98	34,28	0,32	0,74	1,78	0,49
C63	3,56	8,37	29,82	0,28	0,65	1,90	0,34

Çizelge 3.6. Havza 9 ve alt havzalarına ait alansal morfometrik özellikler

Havza No	Drenaj Yoğunluğu	Akarsu Sıklığı	İnfiltrasyon Değeri	Dairesellik Oranı	Uzunluk Oranı	Gravelius İndeks	Form Faktörü
	D_d (1/km)	F_s (1/km^2)	I_f (-)	R_c (-)	R_e (-)	K_g (-)	F (-)
HAVZA 9	3,73	8,73	32,55	0,15	0,62	2,58	0,32
A2	3,41	8,13	27,75	0,20	0,47	2,25	0,18
A3	3,75	8,69	32,61	0,24	0,56	2,04	0,29
A4	3,73	8,61	32,12	0,28	0,61	1,88	0,30
A5	3,68	8,62	31,71	0,25	0,88	1,99	0,73
A6	3,65	8,22	29,97	0,31	0,78	1,78	0,56
A7	3,42	9,09	31,06	0,27	0,59	1,91	0,29
A8	4,09	8,62	35,22	0,40	0,88	1,58	0,70
A9	3,72	9,57	35,59	0,27	0,64	1,94	0,34
A10	3,81	8,77	33,39	0,32	0,68	1,76	0,37
A11	3,67	8,67	31,85	0,20	0,50	2,23	0,22
A12	3,75	8,64	32,38	0,16	0,74	2,48	0,48
A13	3,79	9,07	34,37	0,34	0,66	1,71	0,38

Çizelge 3.7. Havza 4 ve alt havzalarına ait rölyef morfometrik özellikler

Havza No	Havza Rölyefi	Rölyef Oranı	Engebelilik Değeri	Havza Eğimi	Melton Engebelilik Değeri
	B_h (m)	R_h (-)	R_n (-)	S (-)	MRn (-)
ÇORUH HAVZASI	3 833	0,03	14,88	0,35	0,03
HAVZA 4	3 135	0,10	12,17	0,40	0,07
B2	1 497	0,18	5,97	0,35	0,29
B3	1 509	0,15	6,39	0,36	0,32
B4	2 573	0,14	10,47	0,34	0,16
B5	2 085	0,17	8,13	0,38	0,24
B6	2 089	0,19	8,15	0,43	0,20
B7	2 806	0,21	11,06	0,58	0,29
B8	2 546	0,14	10,26	0,33	0,26
B9	2 794	0,14	11,05	0,56	0,25
B10	1 865	0,17	6,75	0,54	0,30
B11	1 281	0,13	4,73	0,39	0,21
B12	1 791	0,16	6,38	0,52	0,27
B13	2 219	0,14	8,39	0,42	0,25
B14	2 147	0,12	7,82	0,45	0,14
B15	2 253	0,12	8,62	0,33	0,19
B16	2 277	0,13	8,95	0,29	0,17
B17	1 794	0,17	7,28	0,38	0,31
B18	1 132	0,10	4,35	0,27	0,17
B19	1 988	0,14	7,72	0,29	0,21
B20	1 887	0,13	7,23	0,31	0,15

Çizelge 3.8. Havza 6 ve alt havzalarına ait rölyef morfometrik özellikler

Havza No	Havza Rölyefi	Rölyef Oranı	Engebelilik Değeri	Havza Eğimi	Melton Engebelilik Değeri
	B_h (m)	R_h (-)	R_n (-)	S (-)	MRn (-)
HAVZA 6	2 714	0,04	10,47	0,31	0,03
C2	2 311	0,11	10,31	0,50	0,26
C3	1 732	0,24	7,38	0,47	0,35
C4	1 916	0,20	7,35	0,44	0,29
C5	1 828	0,19	6,99	0,45	0,22
C6	1 697	0,16	6,37	0,50	0,24
C7	1 613	0,16	5,99	0,48	0,23
C8	1 933	0,16	7,15	0,43	0,29
C9	2 060	0,06	7,87	0,36	0,11
C10	1 454	0,23	5,34	0,48	0,28
C11	1 982	0,07	7,68	0,36	0,18
C12	1 908	0,07	7,40	0,23	0,16
C13	1 870	0,07	7,23	0,27	0,11
C14	1 329	0,11	4,86	0,42	0,19
C15	1 122	0,11	3,91	0,37	0,20

Çizelge 3.8. (devam) Havza 6 ve alt havzalarına ait rölyef morfometrik özellikler

Havza No	Havza Rölyefi	Rölyef Oranı	Engebelilik Değeri	Havza Eğimi	Melton Engebelilik Değeri
	B_h (m)	R_h (-)	R_n (-)	S (-)	MRn (-)
C16	1 270	0,13	4,66	0,29	0,17
C17	1 342	0,12	5,20	0,22	0,14
C18	2 098	0,32	9,09	0,39	0,53
C19	2 331	0,11	9,12	0,44	0,18
C20	2 105	0,12	8,45	0,39	0,21
C21	2 077	0,20	8,48	0,50	0,35
C22	1 797	0,21	7,18	0,43	0,38
C23	1 630	0,12	6,06	0,38	0,18
C24	1 299	0,11	5,05	0,25	0,19
C25	1 432	0,08	5,58	0,24	0,14
C26	1 398	0,15	5,30	0,28	0,27
C27	1 857	0,18	7,94	0,45	0,24
C28	1 349	0,32	5,42	0,46	0,49
C29	1 672	0,13	6,45	0,43	0,21
C30	1 751	0,11	6,62	0,26	0,16
C31	1 487	0,16	6,02	0,30	0,21
C32	1 338	0,19	5,61	0,23	0,28
C33	1 429	0,19	5,55	0,39	0,27
C34	1 394	0,12	5,72	0,18	0,17
C35	1 325	0,12	5,13	0,19	0,12
C36	1 264	0,13	4,77	0,33	0,27
C37	1 644	0,18	6,31	0,31	0,29
C38	1 111	0,10	4,01	0,36	0,17
C39	1 460	0,16	5,78	0,27	0,25
C40	1 689	0,06	6,41	0,32	0,09
C41	1 363	0,11	5,06	0,23	0,16
C42	1 398	0,11	5,33	0,25	0,22
C43	1 337	0,12	4,80	0,37	0,24
C44	782	0,13	2,97	0,23	0,19
C45	1 399	0,12	4,98	0,05	0,25
C46	1 269	0,08	4,58	0,23	0,13
C47	1 376	0,06	5,30	0,21	0,10
C48	1 116	0,08	4,24	0,22	0,15
C49	1 138	0,08	4,19	0,20	0,13
C50	980	0,07	3,61	0,21	0,12
C51	1 280	0,05	4,79	0,24	0,09
C52	1 578	0,11	5,81	0,35	0,25
C53	1 335	0,12	5,04	0,26	0,18
C54	1 711	0,10	6,64	0,31	0,14
C55	1 156	0,07	4,06	0,29	0,09
C56	1 319	0,09	5,26	0,24	0,14
C57	1 460	0,07	5,41	0,31	0,11
C58	1 222	0,13	4,41	0,33	0,23
C59	1 102	0,12	4,14	0,27	0,15
C60	1 098	0,07	4,15	0,20	0,11
C61	836	0,08	3,23	0,14	0,09
C62	1 817	0,19	6,94	0,44	0,26
C63	1 028	0,07	3,66	0,29	0,11

Çizelge 3.9. Havza 9 ve alt havzalarına ait rölyef morfometrik özellikler

Havza No	Havza Rölyefi	Rölyef Oranı	Engebelilik Değeri	Havza Eğimi	Melton Engebelilik Değeri
	B_h (m)	R_h (-)	R_n (-)	S (-)	MRn (-)
HAVZA 9	1 696	0,02	6,32	0,30	0,09
A2	991	0,07	3,38	0,34	0,15
A3	1 056	0,06	3,96	0,32	0,13
A4	986	0,09	3,68	0,32	0,15
A5	1 280	0,07	4,71	0,31	0,12
A6	879	0,10	3,21	0,29	0,14
A7	875	0,09	2,99	0,38	0,14
A8	1 176	0,19	4,80	0,28	0,22
A9	1 062	0,12	3,95	0,47	0,18
A10	1 181	0,07	4,50	0,29	0,14
A11	1 420	0,03	5,22	0,31	0,11
A12	1 233	0,06	4,62	0,28	0,11
A13	1 234	0,06	4,68	0,31	0,14

EK-4. AHP-U yöntemine ait matrisler

Çizelge 4.1. AHP-U yöntemine ait karar verme matrisi

Alt havzalar	R_{bwm}	R_{twm}	T	L_o	L_{um}	D_d	F_s	I_f	R_c	R_e	K_g	F	B_h	R_h	R_n	S	MRn	SPI	TWI	TRI
B2	4,63	2,51	7,26	0,13	0,44	3,99	9,13	36,45	0,48	0,69	1,45	0,38	1 497	0,18	5,97	0,35	0,29	11,49	19,63	0,69
B3	4,65	2,40	5,87	0,12	0,48	4,24	8,86	37,54	0,40	0,54	1,58	0,23	1 509	0,15	6,39	0,36	0,32	11,21	19,45	0,74
B4	4,96	2,48	22,21	0,12	0,46	4,07	8,83	35,94	0,46	0,78	1,47	0,84	2 573	0,14	10,47	0,34	0,16	14,26	21,94	0,73
B5	4,83	2,59	12,20	0,13	0,46	3,90	8,50	33,13	0,53	0,83	1,38	0,54	2 085	0,17	8,13	0,38	0,24	12,51	16,93	0,71
B6	4,95	2,69	16,34	0,13	0,45	3,90	8,69	33,91	0,67	0,96	1,22	0,84	2 089	0,19	8,15	0,43	0,20	13,05	17,74	0,69
B7	4,64	2,90	16,16	0,13	0,43	3,94	9,20	36,27	0,67	0,81	1,22	0,53	2 806	0,21	11,06	0,58	0,29	13,71	16,92	0,66
B8	4,49	2,38	12,74	0,12	0,44	4,03	9,06	36,52	0,42	0,60	1,54	0,29	2 546	0,14	10,26	0,33	0,26	13,25	17,23	0,73
B9	4,67	2,66	15,51	0,13	0,43	3,95	9,17	36,24	0,46	0,64	1,48	0,33	2 794	0,14	11,05	0,56	0,25	13,76	18,72	0,67
B10	5,16	2,70	10,16	0,14	0,40	3,62	9,12	32,99	0,63	0,65	1,26	0,33	1 865	0,17	6,75	0,54	0,30	12,65	17,18	0,67
B11	4,58	2,63	8,83	0,14	0,42	3,69	8,81	32,54	0,57	0,70	1,33	0,40	1 281	0,13	4,73	0,39	0,21	12,36	16,91	0,71
B12	4,03	2,55	9,89	0,14	0,40	3,56	8,97	31,97	0,63	0,64	1,26	0,33	1 791	0,16	6,38	0,52	0,27	12,45	16,11	0,64
B13	4,96	2,52	13,57	0,13	0,43	3,78	8,79	33,22	0,57	0,63	1,32	0,31	2 219	0,14	8,39	0,42	0,25	13,23	18,30	0,76
B14	4,90	2,53	20,09	0,14	0,41	3,64	8,79	32,05	0,42	0,75	1,53	0,82	2 147	0,12	7,82	0,45	0,14	14,32	19,20	0,70
B15	4,81	2,49	14,92	0,13	0,44	3,83	8,61	32,97	0,42	0,65	1,54	0,38	2 253	0,12	8,62	0,33	0,19	14,00	21,24	0,71
B16	4,69	2,61	18,63	0,13	0,44	3,93	9,00	35,38	0,51	0,78	1,40	0,54	2 277	0,13	8,95	0,29	0,17	13,62	18,61	0,84
B17	4,57	2,54	8,25	0,12	0,43	4,06	9,34	37,92	0,47	0,60	1,46	0,29	1 794	0,17	7,28	0,38	0,31	12,01	17,06	0,80
B18	4,73	2,47	8,61	0,13	0,45	3,85	8,59	33,02	0,48	0,66	1,44	0,36	1 132	0,10	4,35	0,27	0,17	11,83	17,46	0,64
B19	4,36	2,47	11,90	0,13	0,45	3,89	8,62	33,51	0,47	0,72	1,46	0,42	1 988	0,14	7,72	0,29	0,21	12,99	18,41	0,69
B20	4,70	2,73	17,32	0,13	0,43	3,83	8,84	33,85	0,47	0,69	1,45	0,77	1 887	0,13	7,23	0,31	0,15	13,63	18,01	0,85
C2	4,53	2,67	8,04	0,11	0,50	4,46	8,90	39,70	0,21	0,48	2,16	0,18	2 311	0,11	10,31	0,50	0,26	13,16	20,71	0,67
C3	4,81	2,72	6,14	0,12	0,46	4,26	9,30	39,64	0,36	0,74	1,67	0,45	1 732	0,24	7,38	0,47	0,35	11,82	19,52	0,65
C4	4,47	2,39	7,29	0,13	0,46	3,84	8,29	31,79	0,36	0,76	1,66	0,47	1 916	0,20	7,35	0,44	0,29	12,18	20,14	0,66
C5	5,00	2,44	8,91	0,13	0,47	3,82	8,17	31,23	0,35	0,79	1,69	0,69	1 828	0,19	6,99	0,45	0,22	12,53	20,48	0,65
C6	4,29	2,41	7,87	0,13	0,42	3,76	8,99	33,75	0,33	0,64	1,73	0,45	1 697	0,16	6,37	0,50	0,24	12,50	16,60	0,64
C7	4,90	2,67	8,18	0,13	0,44	3,71	8,50	31,53	0,37	0,70	1,65	0,47	1 613	0,16	5,99	0,48	0,23	12,56	20,26	0,66
C8	4,75	2,46	6,50	0,14	0,45	3,70	8,24	30,48	0,29	0,58	1,87	0,30	1 933	0,16	7,15	0,43	0,29	13,00	18,68	0,59
C9	4,81	2,63	19,84	0,13	0,43	3,82	8,85	33,83	0,27	0,67	1,92	0,37	2 060	0,06	7,87	0,36	0,11	14,46	22,26	0,82
C10	4,76	2,93	6,96	0,14	0,41	3,68	8,99	33,04	0,44	0,86	1,51	0,69	1 454	0,23	5,34	0,48	0,28	12,12	15,59	0,67

Çizelge 4.1. (devam) AHP-U yöntemine ait karar verme matrisi

Alt havzalar	R_{bwm}	R_{twm}	T	L_o	L_{um}	D_d	F_s	I_f	R_C	R_e	K_g	F	B_h	R_h	R_n	S	MRn	SPI	TWI	TRI
C11	4,78	2,57	9,29	0,13	0,42	3,88	9,27	35,91	0,16	0,42	2,51	0,14	1 982	0,07	7,68	0,36	0,18	13,43	18,18	0,81
C12	4,86	2,69	11,26	0,13	0,45	3,88	8,63	33,45	0,25	0,50	2,02	0,19	1 908	0,07	7,40	0,23	0,16	13,72	18,20	0,86
C13	4,87	2,60	18,28	0,13	0,43	3,87	9,01	34,83	0,28	0,65	1,89	0,44	1 870	0,07	7,23	0,27	0,11	14,44	20,24	0,81
C14	4,54	2,41	7,69	0,14	0,40	3,66	9,18	33,61	0,29	0,62	1,85	0,31	1 329	0,11	4,86	0,42	0,19	12,42	17,23	0,69
C15	4,94	2,38	6,16	0,14	0,42	3,48	8,36	29,11	0,33	0,64	1,74	0,33	1 122	0,11	3,91	0,37	0,20	11,98	17,16	0,69
C16	4,63	2,47	8,12	0,14	0,43	3,67	8,54	31,37	0,34	0,81	1,73	0,54	1 270	0,13	4,66	0,29	0,17	11,95	19,08	0,71
C17	4,84	2,58	9,64	0,13	0,45	3,87	8,58	33,23	0,29	0,81	1,86	0,75	1 342	0,12	5,20	0,22	0,14	12,90	20,24	0,69
C18	4,59	3,32	3,79	0,12	0,48	4,33	9,10	39,39	0,23	0,59	2,10	0,36	2 098	0,32	9,09	0,39	0,53	11,40	14,72	0,62
C19	4,79	2,66	13,67	0,13	0,44	3,91	8,93	34,92	0,28	0,68	1,90	0,40	2 331	0,11	9,12	0,44	0,18	13,88	21,46	0,66
C20	4,49	2,56	10,95	0,12	0,45	4,01	8,87	35,59	0,31	0,66	1,81	0,34	2 105	0,12	8,45	0,39	0,21	13,92	20,98	0,66
C21	4,37	2,70	6,40	0,12	0,44	4,08	9,20	37,58	0,29	0,65	1,85	0,34	2 077	0,20	8,48	0,50	0,35	12,88	15,79	0,63
C22	4,72	2,96	5,58	0,13	0,47	4,00	8,58	34,30	0,38	0,63	1,61	0,31	1 797	0,21	7,18	0,43	0,38	11,50	16,39	0,62
C23	4,65	2,68	10,51	0,13	0,45	3,72	8,31	30,87	0,39	0,79	1,61	0,50	1 630	0,12	6,06	0,38	0,18	12,79	18,70	0,71
C24	5,05	2,31	6,70	0,13	0,48	3,89	8,17	31,76	0,28	0,61	1,91	0,31	1 299	0,11	5,05	0,25	0,19	11,31	17,78	0,65
C25	4,55	2,34	9,79	0,13	0,47	3,89	8,26	32,15	0,28	0,64	1,88	0,32	1 432	0,08	5,58	0,24	0,14	11,79	20,94	0,76
C26	4,86	2,38	5,15	0,13	0,44	3,79	8,65	32,79	0,26	0,60	1,95	0,29	1 398	0,15	5,30	0,28	0,27	10,40	17,12	0,57
C27	4,12	2,66	8,94	0,12	0,46	4,27	9,25	39,53	0,34	0,83	1,72	0,58	1 857	0,18	7,94	0,45	0,24	12,81	19,00	0,63
C28	4,42	2,36	3,25	0,12	0,44	4,02	9,09	36,54	0,37	0,70	1,64	0,42	1 349	0,32	5,42	0,46	0,49	10,16	14,12	0,59
C29	4,94	2,67	8,07	0,13	0,43	3,86	8,96	34,59	0,25	0,70	1,98	0,41	1 672	0,13	6,45	0,43	0,21	13,66	20,28	0,65
C30	4,72	2,15	11,97	0,13	0,45	3,78	8,46	32,00	0,35	0,79	1,69	0,50	1 751	0,11	6,62	0,26	0,16	13,05	20,12	0,70
C31	4,33	2,52	6,74	0,12	0,49	4,05	8,31	33,65	0,27	0,86	1,91	0,60	1 487	0,16	6,02	0,30	0,21	12,67	17,02	0,65
C32	4,44	2,61	6,08	0,12	0,43	4,19	9,76	40,93	0,34	0,73	1,70	0,45	1 338	0,19	5,61	0,23	0,28	10,92	16,28	0,69
C33	4,65	2,36	6,06	0,13	0,44	3,88	8,82	34,21	0,35	0,69	1,70	0,51	1 429	0,19	5,55	0,39	0,27	11,43	16,26	0,70
C34	4,39	2,44	9,33	0,12	0,46	4,10	8,94	36,67	0,33	0,74	1,75	0,55	1 394	0,12	5,72	0,18	0,17	12,45	19,15	0,72
C35	4,78	2,39	10,81	0,13	0,46	3,87	8,39	32,46	0,29	0,81	1,85	0,89	1 325	0,12	5,13	0,19	0,12	13,03	19,12	0,77
C36	4,51	3,14	4,11	0,13	0,45	3,78	8,35	31,55	0,24	0,55	2,06	0,24	1 264	0,13	4,77	0,33	0,27	11,29	16,27	0,66
C37	5,03	2,40	6,22	0,13	0,46	3,84	8,40	32,23	0,34	0,67	1,72	0,36	1 644	0,18	6,31	0,31	0,29	11,32	18,60	0,64
C38	5,02	2,31	6,31	0,14	0,42	3,61	8,62	31,08	0,25	0,62	1,98	0,33	1 111	0,10	4,01	0,36	0,17	12,64	17,00	0,65
C39	4,71	2,35	6,12	0,13	0,45	3,96	8,84	34,97	0,29	0,71	1,87	0,40	1 460	0,16	5,78	0,27	0,25	11,43	17,36	0,67
C40	4,65	2,40	18,51	0,13	0,44	3,80	8,72	33,10	0,25	0,65	2,01	0,40	1 689	0,06	6,41	0,32	0,09	14,82	22,17	0,67
C41	5,08	2,28	7,86	0,13	0,46	3,71	8,07	29,99	0,26	0,78	1,94	0,49	1 363	0,11	5,06	0,23	0,16	11,92	19,17	0,64
C42	5,22	2,77	6,20	0,13	0,46	3,81	8,26	31,50	0,26	0,56	1,97	0,25	1 398	0,11	5,33	0,25	0,22	11,71	18,28	0,66
C43	4,69	2,18	5,12	0,14	0,42	3,59	8,59	30,86	0,23	0,54	2,07	0,23	1 337	0,12	4,80	0,37	0,24	11,96	17,99	0,62

Çizelge 4.1. (devam) AHP-U yöntemine ait karar verme matrisi

Alt havzalar	R_{bwm}	R_{twm}	T	L_o	L_{um}	D_d	F_s	I_f	R_c	R_e	K_g	F	B_h	R_h	R_n	S	MRn	SPI	TWI	TRI
C44	4,36	2,18	4,74	0,13	0,47	3,80	8,14	30,94	0,44	0,77	1,51	0,49	782	0,13	2,97	0,23	0,19	10,48	18,72	0,56
C45	5,44	2,74	4,81	0,14	0,45	3,56	7,97	28,37	0,22	0,53	2,12	0,23	1 399	0,12	4,98	0,05	0,25	11,29	16,51	0,61
C46	4,98	2,11	9,59	0,14	0,45	3,61	8,01	28,93	0,29	0,65	1,85	0,34	1 269	0,08	4,58	0,23	0,13	12,42	18,71	0,63
C47	4,65	2,30	13,56	0,13	0,44	3,85	8,68	33,46	0,28	0,64	1,89	0,36	1 376	0,06	5,30	0,21	0,10	12,23	20,35	0,71
C48	5,31	2,44	7,00	0,13	0,47	3,80	8,08	30,70	0,26	0,59	1,97	0,29	1 116	0,08	4,24	0,22	0,15	11,98	18,17	0,63
C49	5,00	2,50	8,07	0,14	0,45	3,69	8,19	30,17	0,25	0,66	1,99	0,36	1 138	0,08	4,19	0,20	0,13	12,24	17,70	0,63
C50	4,53	2,49	9,34	0,14	0,42	3,68	8,87	32,67	0,32	0,71	1,78	0,41	980	0,07	3,61	0,21	0,12	12,75	17,96	0,68
C51	4,81	2,43	13,35	0,13	0,43	3,74	8,77	32,82	0,24	0,64	2,05	0,35	1 280	0,05	4,79	0,24	0,09	14,06	21,41	0,86
C52	5,56	2,55	6,22	0,14	0,42	3,68	8,76	32,24	0,24	0,51	2,04	0,21	1 578	0,11	5,81	0,35	0,25	12,37	16,68	0,70
C53	5,32	2,40	8,13	0,13	0,43	3,77	8,79	33,16	0,30	0,68	1,82	0,44	1 335	0,12	5,04	0,26	0,18	12,55	17,75	0,77
C54	4,95	2,59	12,37	0,13	0,44	3,88	8,77	34,01	0,24	0,75	2,02	0,52	1 711	0,10	6,64	0,31	0,14	13,82	18,72	0,75
C55	4,89	2,30	12,73	0,14	0,43	3,51	8,10	28,43	0,27	0,91	1,93	0,66	1 156	0,07	4,06	0,29	0,09	13,33	20,92	0,75
C56	5,36	2,66	10,18	0,13	0,48	3,99	8,35	33,29	0,31	0,73	1,80	0,43	1 319	0,09	5,26	0,24	0,14	12,95	19,08	0,74
C57	4,72	2,40	12,20	0,13	0,44	3,71	8,48	31,41	0,23	0,70	2,09	0,39	1 460	0,07	5,41	0,31	0,11	13,98	18,45	0,68
C58	5,08	2,57	5,28	0,14	0,43	3,61	8,41	30,36	0,27	0,61	1,91	0,30	1 222	0,13	4,41	0,33	0,23	12,35	16,32	0,60
C59	4,90	2,44	8,48	0,13	0,44	3,75	8,54	32,07	0,35	0,77	1,70	0,65	1 102	0,12	4,14	0,27	0,15	12,28	17,87	0,71
C60	4,77	2,52	10,51	0,13	0,43	3,78	8,86	33,48	0,29	0,73	1,87	0,43	1 098	0,07	4,15	0,20	0,11	12,36	19,23	0,77
C61	4,46	2,29	10,19	0,13	0,46	3,86	8,37	32,29	0,37	0,97	1,65	0,82	836	0,08	3,23	0,14	0,09	13,13	18,92	0,83
C62	4,72	2,62	7,68	0,13	0,43	3,82	8,98	34,28	0,32	0,74	1,78	0,49	1 817	0,19	6,94	0,44	0,26	12,68	20,19	0,65
C63	4,67	2,35	8,89	0,14	0,43	3,56	8,37	29,82	0,28	0,65	1,90	0,34	1 028	0,07	3,66	0,29	0,11	12,26	18,58	0,74
A2	4,83	2,55	4,66	0,15	0,42	3,41	8,13	27,75	0,20	0,47	2,25	0,18	991	0,07	3,38	0,34	0,15	11,71	18,19	0,64
A3	4,79	2,57	9,01	0,13	0,43	3,75	8,69	32,61	0,24	0,56	2,04	0,29	1 056	0,06	3,96	0,32	0,13	12,68	20,67	0,72
A4	5,19	2,70	6,37	0,13	0,43	3,73	8,61	32,12	0,28	0,61	1,88	0,30	986	0,09	3,68	0,32	0,15	11,86	16,67	0,72
A5	4,81	2,58	15,25	0,14	0,43	3,68	8,62	31,71	0,25	0,88	1,99	0,73	1 280	0,07	4,71	0,31	0,12	13,97	20,67	0,75
A6	5,26	2,57	7,01	0,14	0,44	3,65	8,22	29,97	0,31	0,78	1,78	0,56	879	0,10	3,21	0,29	0,14	12,40	16,84	0,68
A7	4,42	2,79	5,62	0,15	0,38	3,42	9,09	31,06	0,27	0,59	1,91	0,29	875	0,09	2,99	0,38	0,14	11,76	17,02	0,64
A8	4,28	2,32	6,00	0,12	0,47	4,09	8,62	35,22	0,40	0,88	1,58	0,70	1 176	0,19	4,80	0,28	0,22	10,80	16,46	0,68
A9	4,38	3,29	5,64	0,13	0,39	3,72	9,57	35,59	0,27	0,64	1,94	0,34	1 062	0,12	3,95	0,47	0,18	11,32	18,24	0,64
A10	4,71	2,54	12,05	0,13	0,43	3,81	8,77	33,39	0,32	0,68	1,76	0,37	1 181	0,07	4,50	0,29	0,14	13,27	19,14	0,68
A11	4,81	2,49	19,45	0,14	0,42	3,67	8,67	31,85	0,20	0,50	2,23	0,22	1 420	0,03	5,22	0,31	0,11	14,49	22,52	0,72
A12	4,94	2,51	11,54	0,13	0,43	3,75	8,64	32,38	0,16	0,74	2,48	0,48	1 233	0,06	4,62	0,28	0,11	14,26	20,36	0,65
A13	4,77	2,92	14,52	0,13	0,42	3,79	9,07	34,37	0,34	0,66	1,71	0,38	1 234	0,06	4,68	0,31	0,14	12,62	19,57	0,68

Çizelge 4.2. AHP-U yöntemine ait karşılaştırılmalı üstünlük matrisi

Kriterler	R_{bwm}	R_{lwm}	T	L_o	L_{um}	D_d	F_s	I_f	R_c	R_e	K_g	F	B_h	R_h	R_n	S	MRn	SPI	TWI	TRI
R_{bwm}	1,0	2,0	0,5	2,0	2,0	0,3	0,3	5,0	5,0	4,0	0,5	3,0	0,3	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	1,0	0,3
R_{lwm}	0,5	1,0	0,3	2,0	2,0	0,3	0,3	5,0	4,0	3,0	0,5	3,0	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5
T	2,0	3,0	1,0	0,5	0,3	0,3	0,5	3,0	4,0	4,0	0,5	5,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	2,0	0,3
L_o	0,5	0,5	2,0	1,0	0,5	0,5	0,5	5,0	3,0	3,0	0,3	3,0	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5
L_{um}	0,5	0,5	3,0	2,0	1,0	0,3	0,3	5,0	4,0	4,0	0,5	4,0	0,5	0,5	0,3	0,3	0,5	0,3	0,5	0,5
D_d	3,0	4,0	3,0	2,0	3,0	1,0	2,0	4,0	5,0	5,0	0,3	3,0	0,5	2,0	0,3	0,5	0,5	0,5	3,0	0,5
F_s	3,0	3,0	2,0	2,0	3,0	0,5	1,0	3,0	4,0	4,0	0,3	4,0	0,5	3,0	3,0	0,3	0,3	0,3	3,0	0,5
I_f	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	1,0	0,5	0,5	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,5
R_c	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	2,0	1,0	2,0	0,3	2,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3
R_e	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	2,0	0,5	1,0	0,2	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
K_g	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0	3,0	3,0	4,0	3,0	5,0	1,0	4,0	0,3	2,0	0,5	0,3	0,3	0,3	2,0	0,3
F	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	3,0	0,5	2,0	0,3	1,0	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
B_h	3,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	1,0	2,0	2,0	0,5	0,5	0,5	3,0	1,0
Rh	2,0	3,0	3,0	2,0	2,0	0,5	0,3	4,0	3,0	5,0	0,5	4,0	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	2,0	0,5
R_n	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	0,3	4,0	4,0	5,0	2,0	5,0	0,5	2,0	1,0	0,5	0,5	0,5	2,0	0,5
S	3,0	4,0	3,0	4,0	3,0	2,0	3,0	4,0	4,0	5,0	3,0	5,0	2,0	2,0	2,0	1,0	0,5	2,0	3,0	2,0
MRn	3,0	3,0	3,0	4,0	2,0	2,0	3,0	4,0	4,0	5,0	3,0	5,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	3,0	2,0
SPI	3,0	4,0	3,0	4,0	3,0	2,0	3,0	4,0	5,0	5,0	3,0	5,0	2,0	2,0	2,0	0,5	0,5	1,0	2,0	3,0
TWI	1,0	2,0	0,5	2,0	2,0	0,3	0,3	5,0	5,0	4,0	0,5	3,0	0,3	0,5	0,5	0,3	0,3	0,5	1,0	2,0
TRI	3,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	1,0	2,0	2,0	0,5	0,5	0,3	0,5	1,0

Çizelge 4.3. AHP-U yöntemine ait normalize matrisi

Kriterler	R_{bwm}	R_{lwm}	T	L_o	L_{um}	D_d	F_s	I_f	R_c	R_e	K_g	F	B_h	R_h	R_n	S	MRn	SPI	TWI	TRI
R_{bwm}	0,030	0,050	0,014	0,052	0,059	0,016	0,014	0,070	0,076	0,055	0,022	0,046	0,023	0,021	0,027	0,035	0,041	0,031	0,033	0,020
R_{lwm}	0,015	0,025	0,009	0,052	0,059	0,012	0,014	0,070	0,061	0,041	0,022	0,046	0,035	0,014	0,018	0,027	0,041	0,023	0,017	0,029
T	0,059	0,075	0,027	0,013	0,010	0,016	0,022	0,042	0,061	0,055	0,022	0,076	0,023	0,014	0,018	0,035	0,041	0,031	0,066	0,020
L_o	0,015	0,012	0,055	0,026	0,015	0,024	0,022	0,070	0,046	0,041	0,014	0,046	0,035	0,021	0,018	0,027	0,031	0,023	0,017	0,029
L_{um}	0,015	0,012	0,083	0,052	0,029	0,016	0,014	0,070	0,061	0,055	0,022	0,061	0,035	0,021	0,018	0,035	0,062	0,031	0,017	0,029
D_d	0,090	0,099	0,083	0,052	0,089	0,047	0,086	0,056	0,076	0,069	0,014	0,046	0,035	0,084	0,018	0,053	0,062	0,046	0,101	0,029
F_s	0,090	0,075	0,055	0,052	0,089	0,024	0,043	0,042	0,061	0,055	0,014	0,061	0,035	0,127	0,162	0,035	0,041	0,031	0,101	0,029
I_f	0,006	0,005	0,009	0,005	0,006	0,012	0,014	0,014	0,008	0,007	0,011	0,005	0,035	0,011	0,013	0,027	0,031	0,023	0,007	0,029
R_c	0,006	0,006	0,007	0,009	0,007	0,009	0,011	0,028	0,015	0,028	0,014	0,030	0,023	0,014	0,013	0,027	0,031	0,018	0,007	0,020
R_e	0,007	0,008	0,007	0,009	0,007	0,009	0,011	0,028	0,008	0,014	0,009	0,008	0,023	0,008	0,011	0,021	0,025	0,018	0,008	0,020
K_g	0,059	0,050	0,055	0,078	0,059	0,144	0,131	0,056	0,046	0,069	0,043	0,061	0,023	0,084	0,027	0,035	0,041	0,031	0,066	0,020
F	0,010	0,008	0,005	0,009	0,007	0,016	0,011	0,043	0,008	0,028	0,011	0,015	0,023	0,011	0,011	0,021	0,025	0,018	0,011	0,020
B_h	0,090	0,050	0,083	0,052	0,059	0,095	0,086	0,028	0,046	0,042	0,131	0,046	0,070	0,084	0,108	0,053	0,062	0,046	0,101	0,059
Rh	0,059	0,075	0,083	0,052	0,059	0,024	0,014	0,056	0,046	0,069	0,022	0,061	0,035	0,042	0,027	0,053	0,062	0,046	0,066	0,029
R_n	0,059	0,075	0,083	0,078	0,089	0,144	0,014	0,056	0,061	0,069	0,087	0,076	0,035	0,084	0,054	0,053	0,062	0,046	0,066	0,029
S	0,090	0,099	0,083	0,103	0,089	0,095	0,131	0,056	0,061	0,069	0,131	0,076	0,140	0,084	0,108	0,107	0,062	0,184	0,101	0,118
MRn	0,090	0,075	0,083	0,103	0,059	0,095	0,131	0,056	0,061	0,069	0,131	0,076	0,140	0,084	0,108	0,213	0,123	0,184	0,101	0,118
SPI	0,089	0,099	0,082	0,103	0,088	0,095	0,130	0,056	0,076	0,069	0,130	0,076	0,140	0,084	0,108	0,053	0,062	0,092	0,066	0,176
TWI	0,030	0,050	0,014	0,052	0,059	0,016	0,014	0,070	0,076	0,055	0,022	0,046	0,023	0,021	0,027	0,035	0,041	0,046	0,033	0,118
TRI	0,089	0,050	0,082	0,052	0,059	0,095	0,086	0,028	0,046	0,041	0,130	0,046	0,070	0,084	0,108	0,053	0,062	0,031	0,017	0,059

EK-5. AHP-N yöntemine ait matrisler

Çizelge 5.1. AHP-N yöntemine ait karşılaştırılmalı üstünlük matrisi

Kriterler	R_{bwm}	R_{lwm}	T	L_o	L_{um}	D_d	F_s	I_f	R_c	R_e	K_g	F	B_h	Rh	R_n	S	MRn	SPI	TWI	TRI
R_{bwm}	1,0	4,0	4,0	0,3	0,5	3,0	3,0	3,0	0,2	0,3	0,3	0,3	3,0	4,0	4,0	0,3	6,0	0,5	0,5	2,0
R_{lwm}	0,3	1,0	2,0	0,2	0,2	0,5	0,5	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	0,5	2,0	0,5	0,2	3,0	0,2	0,3	0,3
T	0,3	0,5	1,0	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	0,5	2,0	0,5	0,2	3,0	0,2	0,3	0,3
L_o	3,0	5,0	6,0	1,0	2,0	5,0	4,0	4,0	0,3	2,0	0,5	0,3	5,0	6,0	5,0	2,0	7,0	2,0	3,0	4,0
L_{um}	2,0	5,0	5,0	0,5	1,0	4,0	4,0	3,0	0,3	0,5	0,3	0,3	4,0	5,0	4,0	0,5	7,0	0,5	2,0	3,0
D_d	0,3	2,0	3,0	0,2	0,3	1,0	0,5	0,5	0,1	0,3	0,2	0,2	2,0	3,0	2,0	0,2	4,0	0,3	0,3	0,5
F_s	0,3	2,0	3,0	0,3	0,3	2,0	1,0	0,5	0,1	0,3	0,2	0,2	2,0	3,0	2,0	0,3	4,0	0,3	0,3	0,5
I_f	0,3	3,0	3,0	0,3	0,3	2,0	2,0	1,0	0,2	0,3	0,3	0,2	2,0	3,0	2,0	0,3	5,0	0,3	0,3	0,5
R_c	5,0	8,0	8,0	4,0	4,0	7,0	7,0	6,0	1,0	4,0	3,0	2,0	7,0	8,0	7,0	4,0	9,0	4,0	5,0	6,0
R_e	3,0	5,0	5,0	0,5	2,0	4,0	4,0	4,0	0,3	1,0	0,5	0,3	5,0	5,0	5,0	0,5	7,0	2,0	3,0	3,0
K_g	3,0	6,0	6,0	2,0	2,0	5,0	5,0	4,0	0,3	2,0	1,0	0,3	5,0	6,0	5,0	2,0	8,0	2,0	3,0	4,0
F	4,0	7,0	7,0	3,0	4,0	6,0	6,0	6,0	0,5	3,0	3,0	1,0	6,0	7,0	6,0	3,0	9,0	3,0	4,0	5,0
B_h	0,3	2,0	2,0	0,2	0,3	0,5	0,5	0,5	0,1	0,2	0,2	0,2	1,0	2,0	2,0	0,2	4,0	0,3	0,3	0,3
Rh	0,3	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	0,5	1,0	0,5	0,2	3,0	0,2	0,3	0,3
R_n	0,3	2,0	2,0	0,2	0,3	0,5	0,5	0,5	0,1	0,2	0,2	0,1	0,5	2,0	1,0	0,2	4,0	0,2	0,3	0,3
S	3,0	5,0	6,0	0,5	2,0	5,0	4,0	4,0	0,3	2,0	0,5	0,3	5,0	6,0	5,0	1,0	7,0	2,0	3,0	4,0
MRn	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,1	1,0	0,1	0,2	0,2
SPI	2,0	5,0	5,0	0,5	2,0	4,0	4,0	4,0	0,3	0,5	0,5	0,3	4,0	5,0	5,0	0,5	7,0	1,0	2,0	3,0
TWI	2,0	4,0	4,0	0,3	0,5	3,0	3,0	3,0	0,2	0,3	0,3	0,3	3,0	4,0	4,0	0,3	6,0	0,5	1,0	2,0
TRI	0,5	3,0	4,0	0,3	0,3	2,0	2,0	2,0	0,2	0,3	0,3	0,2	3,0	4,0	3,0	0,3	5,0	0,3	0,5	1,0

Çizelge 5.2. AHP-N yöntemine ait normalize matrisi

Kriterler	R_{hwm}	R_{twm}	T	L_o	L_{um}	D_d	F_s	I_f	R_c	R_e	K_g	F	B_h	Rh	R_n	S	MRn	SPI	TWI	TRI
R_{hwm}	0,032	0,057	0,052	0,023	0,022	0,054	0,058	0,064	0,041	0,018	0,028	0,036	0,051	0,051	0,063	0,021	0,055	0,025	0,017	0,050
R_{twm}	0,008	0,014	0,026	0,014	0,009	0,009	0,010	0,007	0,026	0,011	0,014	0,021	0,008	0,026	0,008	0,012	0,028	0,010	0,008	0,008
T	0,008	0,007	0,013	0,011	0,009	0,006	0,006	0,007	0,026	0,011	0,014	0,021	0,008	0,026	0,008	0,010	0,028	0,010	0,008	0,006
L_o	0,097	0,071	0,078	0,068	0,089	0,090	0,077	0,085	0,051	0,110	0,042	0,048	0,084	0,077	0,078	0,124	0,064	0,101	0,102	0,100
L_{um}	0,065	0,071	0,065	0,034	0,045	0,072	0,077	0,064	0,051	0,028	0,028	0,036	0,068	0,064	0,063	0,031	0,064	0,025	0,068	0,075
D_d	0,011	0,028	0,039	0,014	0,011	0,018	0,010	0,011	0,029	0,014	0,017	0,024	0,034	0,038	0,031	0,012	0,037	0,013	0,011	0,012
F_s	0,011	0,028	0,039	0,017	0,011	0,036	0,019	0,011	0,029	0,014	0,017	0,024	0,034	0,038	0,031	0,015	0,037	0,013	0,011	0,012
I_f	0,011	0,043	0,039	0,017	0,015	0,036	0,039	0,021	0,034	0,014	0,021	0,024	0,034	0,038	0,031	0,015	0,046	0,013	0,011	0,012
R_c	0,161	0,114	0,104	0,272	0,178	0,126	0,135	0,127	0,205	0,221	0,252	0,287	0,118	0,102	0,110	0,247	0,083	0,202	0,169	0,149
R_e	0,097	0,071	0,065	0,034	0,089	0,072	0,077	0,085	0,051	0,055	0,042	0,048	0,084	0,064	0,078	0,031	0,064	0,101	0,102	0,075
K_g	0,097	0,085	0,078	0,136	0,089	0,090	0,096	0,085	0,068	0,110	0,084	0,048	0,084	0,077	0,078	0,124	0,073	0,101	0,102	0,100
F	0,129	0,100	0,091	0,204	0,178	0,108	0,116	0,127	0,103	0,166	0,252	0,144	0,101	0,089	0,094	0,185	0,083	0,152	0,136	0,124
B_h	0,011	0,028	0,026	0,014	0,011	0,009	0,010	0,011	0,029	0,014	0,017	0,024	0,017	0,026	0,031	0,012	0,037	0,013	0,011	0,008
Rh	0,008	0,007	0,007	0,011	0,009	0,006	0,006	0,007	0,026	0,011	0,014	0,021	0,008	0,013	0,008	0,010	0,028	0,010	0,008	0,006
R_n	0,008	0,028	0,026	0,014	0,011	0,009	0,010	0,011	0,029	0,011	0,017	0,021	0,008	0,026	0,016	0,012	0,037	0,010	0,008	0,008
S	0,097	0,071	0,078	0,034	0,089	0,090	0,077	0,085	0,051	0,110	0,042	0,048	0,084	0,077	0,078	0,062	0,064	0,101	0,102	0,100
MRn	0,005	0,005	0,004	0,010	0,006	0,005	0,005	0,004	0,023	0,008	0,010	0,016	0,004	0,004	0,004	0,009	0,009	0,007	0,006	0,005
SPI	0,065	0,071	0,065	0,034	0,089	0,072	0,077	0,085	0,051	0,028	0,042	0,048	0,068	0,064	0,078	0,031	0,064	0,051	0,068	0,075
TWI	0,065	0,057	0,052	0,023	0,022	0,054	0,058	0,064	0,041	0,028	0,028	0,036	0,051	0,051	0,063	0,021	0,055	0,025	0,034	0,050
TRI	0,016	0,043	0,052	0,017	0,015	0,036	0,039	0,042	0,034	0,018	0,021	0,029	0,051	0,051	0,047	0,015	0,046	0,017	0,017	0,025

EK-6. Temel bileşen analizine ait matrisler

Çizelge 6.1. Temel bileşen analizi korelasyon matrisi

Kriterler	R_{bwm}	R_{lwm}	T	L_o	L_{um}	D_d	F_s	I_f	R_c	R_e	K_g	F	B_h	R_h	R_n	S	MRn	SPI	TWI	TRI
R_{bwm}	1,0	0,0	0,0	0,3	0,0	-0,3	-0,4	-0,4	-0,2	-0,1	0,2	-0,1	-0,1	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	0,1	0,1	0,1
R_{lwm}	0,0	1,0	0,0	-0,2	-0,2	0,2	0,4	0,3	0,1	-0,1	0,0	-0,1	0,2	0,3	0,2	0,4	0,3	0,0	-0,2	-0,1
T	0,0	0,0	1,0	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,1	0,3	0,3	-0,2	0,4	0,5	-0,4	0,5	0,0	-0,5	0,8	0,6	0,5
L_o	0,3	-0,2	0,0	1,0	-0,6	-1,0	-0,4	-0,9	-0,1	-0,1	0,2	-0,1	-0,5	-0,5	-0,6	-0,1	-0,4	0,0	0,0	-0,1
L_{um}	0,0	-0,2	-0,1	-0,6	1,0	0,6	-0,4	0,2	-0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,2	0,2	-0,3	0,2	-0,1	0,1	-0,1
D_d	-0,3	0,2	0,0	-1,0	0,6	1,0	0,4	0,9	0,1	0,1	-0,2	0,1	0,5	0,5	0,6	0,1	0,5	-0,1	0,0	0,1
F_s	-0,4	0,4	0,1	-0,4	-0,4	0,4	1,0	0,8	0,2	-0,1	-0,2	-0,1	0,4	0,3	0,4	0,5	0,3	0,1	-0,1	0,1
I_f	-0,4	0,3	0,1	-0,9	0,2	0,9	0,8	1,0	0,2	0,0	-0,2	0,0	0,5	0,5	0,6	0,3	0,5	0,0	-0,1	0,1
R_c	-0,2	0,1	0,3	-0,1	-0,1	0,1	0,2	0,2	1,0	0,3	-1,0	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,0	-0,2	0,1
R_e	-0,1	-0,1	0,3	-0,1	0,1	0,1	-0,1	0,0	0,3	1,0	-0,4	1,0	0,0	0,2	0,0	-0,1	-0,2	0,2	0,1	0,2
K_g	0,2	0,0	-0,2	0,2	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	-1,0	-0,4	1,0	-0,4	-0,3	-0,5	-0,3	-0,3	-0,3	0,1	0,2	0,0
F	-0,1	-0,1	0,4	-0,1	0,2	0,1	-0,1	0,0	0,3	1,0	-0,4	1,0	0,0	0,2	0,1	-0,1	-0,2	0,2	0,1	0,2
B_h	-0,1	0,2	0,5	-0,5	0,1	0,5	0,4	0,5	0,4	0,0	-0,3	0,0	1,0	0,4	1,0	0,5	0,4	0,5	0,2	0,1
Rh	-0,3	0,3	-0,4	-0,5	0,2	0,5	0,3	0,5	0,4	0,2	-0,5	0,2	0,4	1,0	0,4	0,5	0,9	-0,4	-0,5	-0,4
R_n	-0,2	0,2	0,5	-0,6	0,2	0,6	0,4	0,6	0,4	0,0	-0,3	0,1	1,0	0,4	1,0	0,5	0,4	0,4	0,1	0,1
S	-0,3	0,4	0,0	-0,1	-0,3	0,1	0,5	0,3	0,4	-0,1	-0,3	-0,1	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5	0,1	-0,1	-0,3
MRn	-0,2	0,3	-0,5	-0,4	0,2	0,5	0,3	0,5	0,3	-0,2	-0,3	-0,2	0,4	0,9	0,4	0,5	1,0	-0,5	-0,6	-0,4
SPI	0,1	0,0	0,8	0,0	-0,1	-0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,2	0,5	-0,4	0,4	0,1	-0,5	1,0	0,6	0,5
TWI	0,1	-0,2	0,6	0,0	0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	-0,5	0,1	-0,1	-0,6	0,6	1,0	0,3
TRI	0,1	-0,1	0,5	-0,1	-0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,2	0,1	-0,4	0,1	-0,3	-0,4	0,5	0,3	1,0



Gazili olmak ayrıcalıktır