T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NEHİR HİDROMORFOLOJİSİNDEKİ DEĞİŞİMLERİN DİSİPLİNLER ARASI YAKLAŞIMLA İZLENMESİ: SAZ-ÇAYIROVA DERESİ ÖRNEĞİ

Batuhan KILIÇ

DOKTORA TEZİ
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Uzaktan Algılama ve CBS Programı

Danışman
Prof. Dr. Fatih GÜLGEN

Eş-Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Meltem ÇELEN

Temmuz, 2024

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NEHİR HİDROMORFOLOJİSİNDEKİ DEĞİŞİMLERİN DİSİPLİNLER ARASI YAKLAŞIMLA İZLENMESİ: SAZ-ÇAYIROVA DERESİ ÖRNEĞİ

Batuhan KILIÇ tarafından hazırlanan tez çalışması 17.07.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı Uzaktan Algılama ve CBS Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Fatih GÜLGEN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Meltem ÇELEN
Gebze Teknik Üniversitesi
Eş-Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Fatih GÜLGEN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Türkay GÖKGÖZ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Müslüm HACAR, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Necla ULUĞTEKİN, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Mehmet Salim ÖNCEL, Üye
Gebze Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Fatih GÜLGEN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Nehir Hidromorfolojisindeki Değişimlerin Disiplinler Arası Yaklaşımla İzlenmesi: Saz-Çayırova Deresi Örneği başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Batuhan KILIÇ

İmza

Bu çalışma, “Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 119Y032" numaralı proje ile desteklenmiştir.

Sevgili eşim ve biricik kızıma

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince akademik bilgi ve tecrübelerini paylaşarak bana rehberlik eden ve her alanda desteğini esirgemeyen kıymetli danışmanım Prof. Dr. Fatih GÜLGEN'e sonsuz şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam süresince içinde bulunduğum proje kapsamında değerli katkılar ve yol gösterici tavsiyelerinden faydalandığım eş danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Meltem ÇELEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme süreçlerinde bilgi ve birikimlerinden yararlandığım saygıdeğer jüri üyeleri Prof. Dr. Türkay GÖKGÖZ ve Prof. Dr. Necla ULUĞTEKİN'e en derin teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda yer alan analizlerin büyük bir kısmı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 119Y032 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda başta TUBİTAK olmak üzere değerli hocam Prof. Dr. Mehmet Salim ÖNCEL'e ve tüm proje ekibine teşekkür ederim.

Tez çalışmamda yer alan havza sınırları içerisinde nehir kıyı-kenar alanlarının üretilmesi ile ilgili olarak sorularımı içtenlikle yanıtlayan ve üretmiş olduğu yazılımı benimle paylaşan Dr. Sinan ABOOD'a teşekkür ederim.

Doktora tez çalışması yolculuğulumda özel bir yere sahip olan Yıldız Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü'ndeki arkadaşlarıma ve meslektaşlarıma çok teşekkür ederim. Öncelikle Doç. Dr. Müslüm HACAR, Doç. Dr. Seda ÖZARPACI, Dr. Yalçın YILMAZ, Arş. Gör. Onur Can BAYRAK ve Arş. Gör. Halil Nurullah ORUÇ'a dostlukları ve doktora çalışmam sırasında verdikleri destekler için çok teşekkür ederim. Ayrıca, tez çalışması boyunca desteklerini esirgemeyen Dr. Alpay ÖZDEMİR, Dr. Barış SÜLEYMANOĞLU, Dr. Öğr. Üyesi Ali Hasan DOĞAN, Dr. Fahri KARABULUT, Arş. Gör. İlay FARIMAZ, Arş. Gör. Efe Turan AYRUK, Arş. Gör. Atakan BİLGİLİ, Arş. Gör. Tümay ARDA, Arş. Gör. Özlem KORKMAZ ve isimlerini sayamadığım tüm mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen annem Nimet, babam Hacı ve kardeşim Beyza'ya sonsuz şükranlarımı sunarım.

Son olarak akademik çalışmalarım süresince kahrımı çeken ve sabırla beni destekleyen ve doktora çalışmam uğruna 5 ay uzak kaldığım sevgili eşim Seda ve biricik kızım Masal Asya'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Batuhan KILIÇ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ x

KISALTMA LİSTESİ xii

ŞEKİL LİSTESİ xv

TABLO LİSTESİ xvii

ÖZET xix

ABSTRACT xxi

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 5

1.2 Tezin Amacı 11

1.3 Hipotez 11

2 HİDROMORFOLOJİK İZLEME İÇİN TEKNİK STANDARTLAR 13

2.1 EN 14614: Su Kalitesi – Nehirlerin Hidromorfolojik Detaylarının Değerlendirilmesi için Rehber Standart 14

2.1.1 Kapsam 14

2.1.2 Terim ve Tanımlamalar 14

2.1.3 İlkeler 18

2.1.4 Gereksinim Duyulan Ölçüler 18

2.1.5 Veri Toplama ve Değerlendirme Bölgeleri 22

2.1.6 Veri Toplama Prosedürü 24

2.1.7 Hidromorfolojik Değerlendirme Odaklı Sınıflandırma ve Raporlama 24

2.1.8 Veri Sunumu 24

2.2 EN 15843: Su Kalitesi – Nehir Hidromorfolojisinin Değişiklik/Değişim Derecesinin Belirlenmesinde Rehber Standart . 25

2.2.1 Kapsam 25

2.2.2 Nehirlerin Hidromorfolojik Değişikliklerinin Belirlenmesi . 26

2.2.3 Hidromorfolojik Değişimlerin Yorumlanması ve Raporlanması . . . 27
2.3 Hidromorfolojik İzleme ve Değerlendirmede Türkiye'deki Gelişmeler 37
2.4 Yürürlükteki Hidromorfolojik İzleme Tebliği . . . 38
2.5 Hidromorfolojik İzleme Açısından Türkiye'nin Durumu . . . 39

3 HİDROMORFOLOJİK DEĞİŞİM ANALİZİ 41
3.1 Çalışma Bölgesi . . . 41
3.2 Hidromorfolojik Değişim Kriterleri . . . 44
3.3 Veri Toplama ve İşleme . . . 46
3.4 Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları . . . 48
3.5 Erişim Kollarının Belirlenmesi . . . 49
3.6 Referans Koşullar . . . 52
3.7 Sayısal Arazi Modelleri . . . 53
3.7.1 Havza Sınırlarının Türetilmesi . . . 57
3.7.2 Arazi Kullanımının Belirlenmesi . . . 60
3.7.3 Kıyı/Kenar ve Taşkın Sınırlarının Türetilmesi . . . 61
3.7.4 Kriterlerdeki Değişim . . . 66
3.8 Hidrolojik Model . . . 72
3.8.1 Girdi Parametreleri . . . 73
3.8.2 Model Kalibrasyonu ve Validasyonu . . . 75
3.8.3 Uzman Görüşleri . . . 76

4 ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ 78
4.1 Analitik Hiyerarşi Süreci . . . 79
4.2 Best-Worst Yöntemi . . . 82
4.3 Bulanık-AHP . . . 84
4.4 AHP, BWM ve F-AHP Yöntemlerinin Karşılaştırılması . . . 86
4.5 Hidromorfolojik Değişim Düzeyinin Belirlenmesi . . . 87
4.6 ÇKKV Yöntemleri ile Ağırlıkların Belirlenmesi . . . 89
4.7 İstatistiksel Karşılaştırma . . . 98

5 BULGULAR VE TARTIŞMA 102
5.1 Su Kalitesi Kriterlerinin Değişim Düzeyleri . . . 102
5.2 Dere Yatağı Kriterlerinin Değişim Düzeyleri . . . 106
5.3 Taşkın Bölgesi Kriterlerinin Değişim Düzeyleri . . . 113
5.4 Havza Kriterlerinin Değişim Düzeyleri . . . 116
5.5 Kıyı/Kenar Bölgesi Kriterlerinin Değişim Düzeyleri . . . 119
5.6 Dönemsel Değerlendirme . . . 121
5.7 Hidromorfolojik Değişim Düzeyleri . . . 121

5.8 Sınırlamalar ve Gelecek Araştırma Yönelimleri 128

6 SONUÇ **131**

KAYNAKÇA **135**

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **154**

SİMGE LİSTESİ

W	Ağırlık Vektörü
p	Anlamlılık Düzeyi
Cu	Bakır
λ	Boylam Değeri
$\tilde{A}$	Bulanık Karşılaştırma Matrisi
Zn	Çinko
Fe	Demir
$D\infty$	D-sonsuz
l	Düşük Bulanık Sayı
ϕ	Enlem Değeri
r	Etki Büyüklüğü
V_{ij}	İhlal Değeri
$\otimes$	İki Bulanık Sayının Çoğaltılması
Ca	Kalsiyum
A	Karşılaştırma Matrisi
χ^2	Ki-kare Değeri
n	Kriter Sayısı
a_{ij}	Kriterler Arasındaki Göreli Öncelik
Pb	Kurşun
Mg	Magnezyum
m	Orta Bulanık Sayı
N	Ölçü Sayısı
λ_{maks}	Özdeğer Vektörü

df	Serbestlik Derecesi
Na	Sodyum
D	Sütun Vektörü
$\mu_A(x)$	Üyelik Fonksiyonu
Z	Wilcoxon İşaretli Sıralar Test Değeri
u	Yüksek Bulanık Sayı
C	Yüzdesel Ağırlık Matrisi

KISALTMA LİSTESİ

2B	2 Boyutlu
AA	Amonyum Azotu
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AÇA	Avrupa Çevre Ajansı
AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci
AKM	Askıda Katı Madde
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
BS	Balık Sürekliliği
BWM	Best-Worst Yöntemi
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CEN	Avrupa Standartlar Komitesi
CI	Tutarlılık İndeksi
CORINE	Çevresel Bilgi Koordinasyonu
CR	Tutarlılık Oranı
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
ÇO	Çözünmüş Oksijen
DSİ	Devlet Su İşleri
ED50	Avrupa Datumu 50
Eİ	Elektriksel İletkenlik
F-AHP	Bulanık-AHP
FH	Fiziksel Habitat
GFA	Geomorphic Flood Area

GLUE	Generalized Likelihood Uncertainty Estimation
GOSB	Gebze Organize Sanayi Bölgesi
GW	Global Ağırlık
HD	Hidromorfolojik Değişim
HRD	Hidrolojik Rejim Değişikliği
IDW	Inverse Distance Weighting
IHA-RVA	Hydrologic Alteration-Range of Variability Approach
IHI	Index of Habitat Integrity
ISO	Uluslararası Standartlar Örgütü
İHA	İnsansız Hava Aracı
İSU	Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi
KH	Kıyı Habitatı
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
LW	Yerel Ağırlık
M	Morfolojik
MAVT	Multi-Attribute Value Theory
MCMC	Markov Chain Monte Carlo
MV	Minimum İhlal
NA	Nitrat Azotu
NCEP	Ulusal Çevre Tahmin Merkezi
NSE	Nash-Sutcliffe
ORP	Oksidasyon-Redüksiyon Potansiyeli
PARASOL	Parameter Solutions
PBIAS	Percent Bias
REFORM	Restoring rivers FOR effective catchment Management
RI	Rastlantısal İndeks
SAM	Sayısal Arazi Modeli
SÇD	Su Çerçeve Direktifi
SHIM	Methodology for Assessing Hydromorphological Status

SKH	Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi
SKKY	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
SUFI-2	Sequential Uncertainty Fitting 2
SWAT	Soil and Water Assessment Tool
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TD	Toplam Sapma
TFN	Üçgen Bulanık Sayı
TOC	Toplam Organik Karbon
TOSB	Otomotiv Tedarik Sanayi İhtisas Organize Sanayi Bölgesi
TP	Toplam Fosfor
TRARC	Tropical Rapid Appraisal of Riparian Condition
UA	Uzaktan Algılama
USGS	United States Geological Survey
USLE	Universal Soil Loss Equation
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS84	World Geodetic System 84

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Yeryüzündeki su konumlarının grafiksel dağılımı [3] 2
Şekil 1.2 Hidromorfolojik değerlendirme yöntemlerinin kronolojik görünümü (Belletti vd. [22] çalışmasından revize edilmiştir) . . . 8
Şekil 1.3 Hidromorfolojik değerlendirme kategorilerine göre ülkelerin kullandığı yöntemlerin sayısı (Rinaldi vd. [26] ve Belletti vd. [22] çalışmalarından revize edilmiştir) 9
Şekil 2.1 Nehir ölçeği bağlamında belirlenen hidromorfolojik araştırmaya temel yaklaşım türlerini gösteren varsayımsal bir havza için 'tür', 'erişim', ölçüm birimi' ilişkisi 20
Şekil 3.1 Saz-Çayırova havzası ve drenaj ağı 42
Şekil 3.2 Saz-Çayırova havzasını kapsayan bölge; (a) 1986 yılı ve (b) 2023 yılı 43
Şekil 3.3 Nehir hidromorfolojisinin değerlendirilmesinde nehir koridorları (Mondal ve Patel [164] çalışmasından revize edilmiştir.) 44
Şekil 3.4 Hidromorfolojik değişim düzeyine ilişkin hiyerarşik sınıflar . . . 45
Şekil 3.5 Arazi çalışmalarında kullanılan formlar 48
Şekil 3.6 Saz-Çayırova havzası gözlem noktaları 49
Şekil 3.7 Hidromorfolojik çalışmalar için çok ölçekli hiyerarşik yaklaşım (Mosselman vd. [166] çalışmasından revize edilmiştir.) 50
Şekil 3.8 Saz-Çayırova havzasının erişim kolları 51
Şekil 3.9 Türetilen 10 m çözünürlüğe sahip SYM 55
Şekil 3.10 (a) 1957 yılına ait örnek dönüşüm noktalarının gösterimi, (b) dönüşüm işlemlerine ait iş akışı 56
Şekil 3.11 Dönüştürme işleminin yapısı; (a) 1957 yılına ait örnek gösterim, (b) 1957 yılına ait arşiv verilerin dönüştürülmesi 57
Şekil 3.12 Drenaj ağı, havza sınırı ve SYM; (a) 1957, (b) 1976, (c) 1997, (d) 2005, (e) güncel 59
Şekil 3.13 Arazi kullanım haritaları; (a) 1957, (b) 1976, (c) 1997, (d) 2005 ve (e) güncel 60
Şekil 3.14 Seçilen örneklem noktaların etrafında oluşturulan kesitler (Abood vd. [193] çalışmasından revize edilmiştir.) 62

Şekil 3.15 Nehir kıyısı bölgesi sınırlarını belirleyen kesit noktaları (Abood vd. [193] çalışmasından revize edilmiştir.) 62
Şekil 3.16 Nihai nehir kıyısı bölgesinin türetilmesi (Abood vd. [193] çalışmasından revize edilmiştir.) 63
Şekil 3.17 Nehir kıyı/kenar sınırları; (a) 1957, (b) 1976, (c) 1997, (d) 2005 ve (e) güncel 64
Şekil 3.18 Taşkın sınırlarının üretilmesi; (a) 1957, (b) 1976, (c) 1997, (d) 2005 ve (e) güncel 66
Şekil 3.19 Ortofoto görüntüler üzerinden drenaj ağlarının sayısallaştırılması; (a) 1968 (b) 1973 (c) 1976 ve (d) 1993 67
Şekil 3.20 Akış sırası değerleri; (a) 1957, (b) 1976, (c) 1997, (d) 2005 ve (e) güncel 69
Şekil 4.1 Hidromorfolojik değişim düzeyinin belirlenme süreci 88
Şekil 5.1 Geometrik değişime uğrayan erişim kolları; (a) 1957, (b) 1976, (c) 1997, (d) 2005 ve (e) güncel 107
Şekil 5.2 1957 yılından günümüze derede ıslahı yapılan ve müdahale edilen kollar 112
Şekil 5.3 Referans düzeyde görünen sulak bölgedeki değişim 115
Şekil 5.4 Erişimlerin 1976 yılına ait hidromorfolojik değişim düzeyleri; (a) Eşit Ağırlıklı, (b) AHP, (c) BWM ve (d) F-AHP 124
Şekil 5.5 Erişimlerin 1997 yılına ait hidromorfolojik değişim düzeyleri; (a) Eşit Ağırlıklı, (b) AHP, (c) BWM ve (d) F-AHP 125
Şekil 5.6 Erişimlerin 2005 yılına ait hidromorfolojik değişim düzeyleri; (a) Eşit Ağırlıklı, (b) AHP, (c) BWM ve (d) F-AHP 126
Şekil 5.7 Erişimlerin güncel döneme ait hidromorfolojik değişim düzeyleri; (a) Eşit Ağırlıklı, (b) AHP, (c) BWM ve (d) F-AHP . . 127

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 SÇD'de bulunan hidromorfolojik kalite unsurları ve iyi düzey tanımlamaları [12] 5
Tablo 2.1 SÇD'de nehirleri sınıflandırmak için kullanılan iki sistem 19
Tablo 2.2 Hidromorfolojik değerlendirmeyi oluşturan standart değerlendirme kategorileri 23
Tablo 2.3 Değişikliği belirlemek için "temel" ve "yardımcı" özellik kategorileri 26
Tablo 2.4 Puanlama bandı dönüşümü 27
Tablo 2.5 Beş sınıf için sınıflandırma terimleri 28
Tablo 2.6 Üç sınıf için sınıflandırma terimleri 28
Tablo 2.7 Protokol 29
Tablo 3.1 Hidromorfolojik değişim kriterlerine ait bilgiler 47
Tablo 3.2 1957, 1976 ve 1997 yıllarına ait mekânsal veri dönüşüm hataları . 57
Tablo 3.3 Beş farklı döneme ait akış sırası sonuçları 68
Tablo 3.4 Beş farklı döneme ait arazi kullanım bilgileri 71
Tablo 3.5 Kıyı/kenar ve taşkın sınırları içinde kalan yapay yapı ve bitki örtüsü alanları 72
Tablo 3.6 Havza genelinde yapılan nüfus sayımları ve Sim-57, Sim-77, Sim-98 için modele entegre edilen debi değerleri 75
Tablo 3.7 Hidrolojik model çıktılarının genel performans değerlendirme aralıkları 76
Tablo 3.8 Hidrolojik model üzerinden elde edilen debi, sediment ve erozyon biriktirme karakteri değerleri 76
Tablo 4.1 AHP yönteminde ikili karşılaştırma ölçeği [218] 80
Tablo 4.2 Karşılaştırma matrislerinin boyutuna bağlı olarak rastlantısal indeks (RI) değerleri [218] 82
Tablo 4.3 Best-Worst yöntemi için tutarlılık indeksi (CI) değerleri 83
Tablo 4.4 Tutarlılık oranı (CR) için eşik değerler 84
Tablo 4.5 F-AHP'de kriterler arasındaki ikili ilişkileri tanımlayan değerler . 85
Tablo 4.6 Hidromorfolojik değişim puanlama sistemi 89
Tablo 4.7 Ana kriterler için ÇKKV sonuçları 90
Tablo 4.8 Su kalitesi arazi ölçüm kriterleri için ÇKKV sonuçları 91

Tablo 4.9 Su kalitesi laboratuvar ölçüm kriterleri için ÇKKV sonuçları . . . 92
Tablo 4.10 Dere yatağı alt kriterleri için ÇKKV sonuçları 93
Tablo 4.11 Kıyı/kenar bölgesi alt kriterleri için ÇKKV sonuçları 94
Tablo 4.12 Taşkın bölgesi alt kriterleri için ÇKKV sonuçları 95
Tablo 4.13 Havza alt kriterleri için ÇKKV sonuçları 96
Tablo 4.14 ÇKKV yöntemlerinden hesaplanan normalize edilmiş ağırlıklar ve genel sıralamalar 97
Tablo 4.15 Üç ÇKKV yöntemi için MV ve TD değerlerinin normallik test sonuçları 99
Tablo 4.16 Üç ÇKKV yöntemi için Friedman testi sonuçları 99
Tablo 4.17 Üç ÇKKV yöntemi için İkili Wilcoxon işaretli sıralar test sonuçları 100
Tablo 4.18 Üç ÇKKV yöntemi için etki büyüklüğü sonuçları 100
Tablo 5.1 Su kalitesi parametrelerindeki yüzdelik değişim 103
Tablo 5.2 Su kalitesi parametrelerine ilişkin puanlamalar 104
Tablo 5.3 Hidromorfolojik değişim için su kalitesi kriterlerinin puanlanması 105
Tablo 5.4 Nehir geometrisi değişim düzeyleri 107
Tablo 5.5 Debi değerlerine ait değişim düzeyleri 108
Tablo 5.6 Sediment taşınımı değerlerine ait değişim düzeyleri 109
Tablo 5.7 Erozyon biriktirme karakteri değerlerine ait değişim düzeyleri . . 110
Tablo 5.8 Nehir içi bitki örtüsü ve yapay yapılar kriterleri için değişim düzeyleri 111
Tablo 5.9 Yeraltı suyu bağlantısı kriteri için değişim düzeyleri 112
Tablo 5.10 Taşkın bölgesindeki yapay yapılar kriteri için değişim düzeyleri . 114
Tablo 5.11 Taşkın bölgesindeki bitki örtüsü kriteri için değişim düzeyleri . . 114
Tablo 5.12 Sulak alan kriteri için değişim düzeyleri 116
Tablo 5.13 Arazi kullanım kriterine ait değişim düzeyleri 117
Tablo 5.14 Akış sırası kriterine ait değişim düzeyleri 118
Tablo 5.15 Drenaj yoğunluğu kriterine ait değişim düzeyleri 118
Tablo 5.16 Kompaktlık katsayısı kriterine ait değişim düzeyleri 119
Tablo 5.17 Nehir kenar materyali kriteri için değişim düzeyleri 119
Tablo 5.18 Kıyı/kenar bölgesindeki yapay yapılar kriteri için değişim düzeyleri 120
Tablo 5.19 Kıyı/kenar bölgesindeki bitki örtüsü kriteri için değişim düzeyleri 121
Tablo 5.20 Kriterlerin dönemlere göre normalize edilen ağırlıkları 122
Tablo 5.21 Saz-Çayırova erişimleri için hidromorfolojik değişim düzey değerleri 123

ÖZET

Nehir Hidromorfolojisindeki Değişimlerin Disiplinler Arası Yaklaşımla İzlenmesi: Saz-Çayırova Deresi Örneği

Batuhan KILIÇ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Fatih GÜLGEN
Eş-Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Meltem ÇELEN

Günümüzde iklim değişikliği ve insan faaliyetleri doğal hidrolojik döngü sistemlerini değiştirmekte, yaşadığımız çevre üzerinde küresel ölçekte etkiler yaratarak su kaynakları üzerinde olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Dünya genelinde hızla artan nüfus, sanayileşme ve tarımsal faaliyetlerin su talepleri insanların su ihtiyacının büyük bir bölümünü karşılayan nehirler üzerinde ciddi baskılar oluşturmaktadır. Sürdürülebilir nehir yönetiminde hidromorfoloji çalışmalarının önemli bir rolü vardır. Düzenli olarak yapılan hidromorfolojik izlemeler sayesinde bir nehrin içindeki ve kıyısındaki yapısal faktörler incelenebilmekte ve suyun akışı, miktarı, niteliği, su yatağı, su taban yapısı, kıyı şeridindeki değişimler ortaya çıkarılabilmektedir. Avrupa Birliği'nin 2000 yılında yürürlüğe koyduğu Su Çerçeve Direktifi (SÇD), hidrolojik rejim, nehir sürekliliği ve nehir yatağı morfolojisi dahil olmak üzere nehirlerin hidromorfolojik unsurlarının izlenmesi yükümlülüğünü getirmiştir. SÇD'ye göre nehirlerin hidromorfolojik kalitesi iyiden kötü düzeye doğru değişen beş basamaklı bir sistemde sınıflandırılmaktadır. Nehirlerin hidromorfolojik kalitesini sınıflandırmak için sayısal ve niteliksel değerlendirme yöntemlerinin geliştirilmesine büyük yatırımlar yapılmış ve çok sayıda yöntem geliştirilmiştir. Ancak, öznellikten kaçınmaya yönelik tüm çabalara rağmen hidromorfolojik değerlendirme yöntemlerinin çoğu hala çeşitli aşamalarda ve nihai koşulların oluşturulmasında uzman görüşüne başvurmaktadır. Hidromorfolojik değerlendirmede uzmanlar genellikle

değerlendirilen unsurlarla ilgili çeşitli ölçümlerin kaydedildiği ve ölçüldüğü veriler üzerinden karara varmaktadır.

Bu tez çalışması, karar verme yaklaşımlarını analitik olarak değerlendirerek endüstriyel ve kentsel baskılara maruz kalan bir nehir havzasının sürdürülebilir yönetimi için hidromorfolojik değerlendirme metodolojisi geliştirmeyi amaçlamaktadır. Uygulama çalışması, sanayi ve endüstrileşmenin yoğunlaştığı bir bölge olan, Kocaeli ili sınırında yer alan ve Marmara Denizi'ne dökülen Saz-Çayırova havzasında gerçekleştirilmiştir. Hidromorfolojik değişime etki eden kriterler belirlenmiş ve değişimin belirlenmesinde arazi çalışmaları, mekânsal analizler ve hidrolojik modelleme kullanılarak eski ve yeni tarihli veriler türetilmiştir. Toplanan veriler Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında yapılandırılmıştır. Uzman görüşlerini toplamak ve tutarlı bir şekilde değerlendirmek için Analitik hiyerarşi süreci (AHP), Best-Worst yöntemi (BWM) ve Bulanık-AHP (F-AHP) gibi üç farklı çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımı kullanılmıştır. Hidromorfolojik değişimi etkileyen kriterler, bu yaklaşımlar kullanılarak karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Üç yaklaşımın sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olup olmadığını belirlemek için minimum ihlal, toplam sapma ve parametrik olmayan testler kullanılmıştır. Çalışma bölgesindeki sonuçlar, uzman görüşleri arasında tutarlılık elde edildiğini ve Saz-Çayırova havzasının hidromorfolojik değişimi açısından benzer düzeylere sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidromorfoloji, su çerçeve direktifi, analitik hiyerarşi süreci, best-worst yöntemi, bulanık-AHP.

ABSTRACT

Monitoring Changes in River Hydromorphology using an Interdisciplinary Approach: The Case Study of Saz-Çayırova Stream

Batuhan KILIÇ

Department of Geomatic Engineering
Doctor of Philosophy Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Fatih GÜLGEN
Co-supervisor: Assoc. Prof. Meltem ÇELEN

In contemporary times, climate change and human activities are altering natural hydrological cycle systems, creating global-scale effects on our environment and resulting in adverse outcomes for water resources. The rapid increase in global population, industrialization, and agricultural activities, combined with rising water demands, have placed significant pressures on rivers. Hydromorphology studies play a crucial role in sustainable river management. Regular hydromorphological monitoring enables the examination of structural factors within and along a river, including water flow, quantity, quality, watercourse, riverbed structure, and changes in the shoreline. The Water Framework Directive (WFD), enacted by the European Union in 2000, mandates the monitoring of hydromorphological elements of rivers, including hydrological regime, river continuity, and riverbed morphology. According to the WFD, the hydromorphological quality of rivers is classified on a five-tier system ranging from good to poor. Significant investments have been made in recent years to develop quantitative and qualitative assessment methods for classifying the hydromorphological quality of rivers, resulting in numerous methodologies. However, despite efforts to avoid subjectivity, many hydromorphological assessment methods still rely on expert judgment at various stages and in forming final conditions. Experts typically reach decisions based on data recorded and measured from field studies, where various measurements related to the assessed elements are collected.

This thesis aims to develop a hydromorphological assessment methodology for the sustainable management of a river basin subjected to industrial and urban pressures by analytically evaluating decision-making approaches. The case study was conducted in the Saz-Çayırova basin, located within the borders of Kocaeli province and draining into the Sea of Marmara, a region of intense industrialization and urbanization. Criteria influencing hydromorphological change were identified, and data were derived using field studies, spatial analyses, and hydrological modeling with both historical and recent data. The collected data were structured within a Geographic Information System (GIS). Three different Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods—Analytic Hierarchy Process (AHP), Best-Worst Method (BWM), and Fuzzy AHP—were used to gather and consistently evaluate expert opinions. All data related to the criteria affecting hydromorphological change were comparatively analyzed using these MCDM methods. Minimum violation, total deviation, and non-parametric tests were employed to determine whether statistically significant differences existed among the results of the three approaches and to identify the most effective method. The findings in the study area demonstrated consistency among expert opinions and indicated that the Saz-Çayırova basin exhibited similar levels of hydromorphological change.

Keywords: Hydromorphology, water framework directive, analytic hierarchy process, best-worst method, fuzzy-AHP.

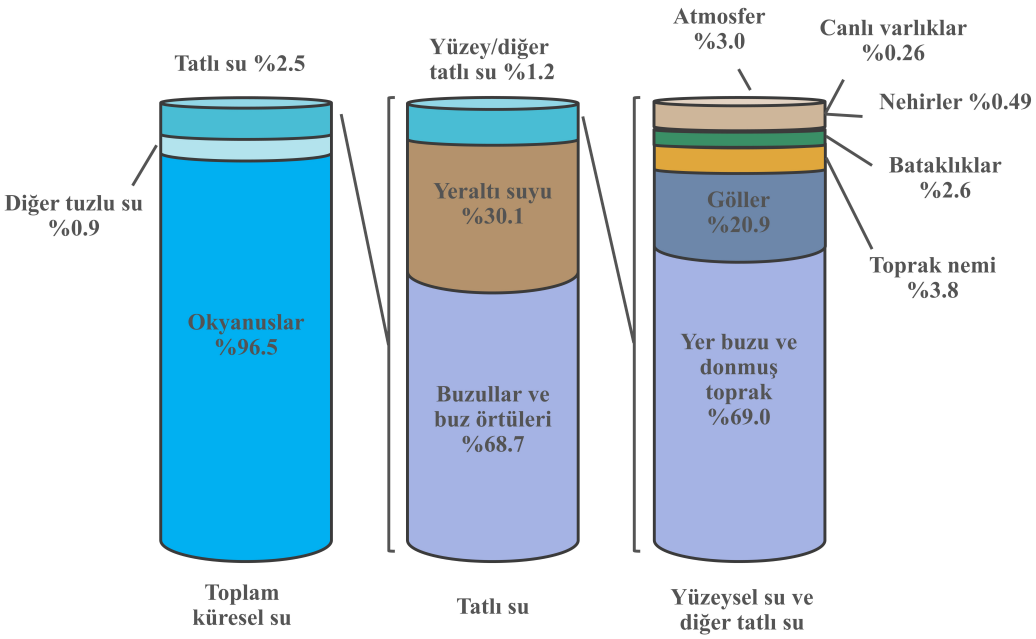
1
GİRİŞ

İnsanlığın gelişiminde doğal kaynak kullanımının önemli bir yeri vardır. Ekonomik kalkınma, gıda güvenliği ve genel refah için temel olan doğal kaynaklar, verimli toprak, enerji, su, mineraller, ormanlar ve biyoçeşitlilik gibi geniş bir yelpazede bulunan çeşitli unsurları kapsamaktadır. Gezegenimizde en yaygın olarak bulunan su diğerlerine göre daha özel bir yere sahiptir. Doğası gereği, insanoğlunun hayatta kalabilmesi ve çevresel işlevlerini yerine getirebilmesi için su en temel gereksinimdir. Tarih boyunca, Mezopotamya, Mısır, Çin, Hindistan ve Maya gibi ilk uygarlıkların yerleşim sahaları olarak Nil, Dicle-Fırat, İndüs, Sarı, Amazon nehri kenarlarını tercih etmeleri suyun insanlık için hayati bir önemi olduğunu göstermiştir [1]. Zaman içinde su kaynaklarının kullanım şekli ve miktarı büyük bir hızla artmıştır. İçme ve genel kullanım dışında tarımsal sulama faaliyetleri ve enerji üretiminde suyun kullanımının artması ülkelerin ekonomik kalkınmasında suyun önemli bir unsur olarak yer almasına yol açmıştır. Toplumsal kalkınmanın kritik unsurlarından biri olan su kaynaklarının planlanması ve yönetimi, uluslararası alanda özel bir öneme sahiptir ve özellikle gelişmiş ülkelerde bu konuyla ilgili çalışmalar genellikle daha yoğun ve dinamik bir haldedir. Bugün, gelişmiş ülke olarak nitelendirilen birçok ülke, su potansiyelinden azami fayda sağlama hususunda öncü durumdadır [2]. Bu ülkeler, evsel, tarımsal, endüstriyel ve çevresel faaliyetlerde teknolojiden azami ölçüde yararlanmaktadır. Fakat gelişmiş ülkeler dışındaki çoğu ülkenin su kaynağı hacimleri hakkında güncel ve yeterli veri eksikliği devam etmektedir. Bu durum yerküredeki toplam su rezervinin hesaplanmasını zorlaştırmaktadır.

Shiklomanov [3] Sovyet bilim adamları tarafından toplanan verilere dayalı olarak yerküredeki toplam su rezervini yaklaşık 1.386.000,000 km^3 olarak hesaplamıştır. Bu rezerv miktarı oldukça büyük olmasına karşın, su dağılımındaki dengesizlikler ve kullanılabilir temiz su oranının bölgesel bazlı düşüklüğü yaşamı zorlaştıran önemli tehditlerdir [3, 4]. Şen [5], suyun dağılımının dengeli olması durumunda yeryüzünün her noktasında yaklaşık 70 cm'lik derinlikte tatlı su kaynaklarının

bulunabileceğinden bahsetmiştir. Birleşmiş Milletler tarafından yayımlanan Dünya Su Gelişim Raporu'nda ise özellikle Avrupa, Asya ve Afrika kıtalarında yaşayan nüfus yoğunluğuna karşın su kaynaklarının düzensiz dağılımından kaynaklanan yetersizliklere vurgu yapılmıştır. Su kaynaklarının dağılımında kıtalar ve ülkeler bazında düzensizliklerin olduğu belirtilmiştir. Örneğin, Güney Amerika'da yaşayan nüfusa göre su kaynaklarının yeterli olduğu, buna karşın Paraguay ve Arjantin'de su stresinin yaşanabileceği vurgulanmıştır [6].

Kullanılabilir tatlı su insanoğlu dahil tüm canlıların hayatta kalması için ana unsurdur. İçilebilir su kaynakları gıda üretimi ve ekonomik kalkınma açısından da oldukça kritiktir. Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nin Jeoloji Araştırmaları Kurumu United States Geological Survey (USGS) Shiklomanov [3] tarafından sunulan veriler baz alınarak dünya üzerindeki suyun dağılımı hakkında bilgiler paylaşmıştır (Şekil 1.1). Bu verilere göre dünya üzerindeki toplam su rezervinin neredeyse %2,5'lik kısmı kullanılabilir tatlı sudur. Geri kalan su rezervi ise tuzludur. Tatlı su rezervinin yaklaşık üçte ikisi buzdur ya da toprakta donmuş haldedir. Tüm tatlı suyun sadece %1,3'ü yaşamın çoğu ihtiyacını karşılayan göller ve nehirler gibi tatlı yüzey sularından oluşur. Bunun büyük kısmı buz halindeyken yaklaşık %20,9'u göl sularıdır. Yüzeydeki tatlı suyun %0,49'u ise nehirlerde bulunur. Bu, küçük bir oran gibi görünmesine karşın insanoğlunun su ihtiyacının büyük bölümünü nehirler sularından karşılamaktadır [7].



Şekil 1.1 Yeryüzündeki su konumlarının grafiksel dağılımı [3]

Dünya genelinde hızla artan nüfus, beraberinde gelen sanayileşme, tarımsal faaliyetler ve diğer sektörlerin talepleri dünyadaki tatlı su kaynakları üzerinde ciddi baskı oluşturmaktadır. İklim değişikliğinin etkisi tatlı su kaynaklarının kalitesini ve miktarını olumsuz yönde etkilemektedir [8, 9]. Tüm bu olumsuzluklar ekosistemdeki su dengesinin bozulmasına neden olabilecek önemli tehditlerdir. Farklı sektörlerin su kaynaklarının sürdürülebilirliğini etkileyen uygulamaları ve başarısız yönetim stratejileri hidrolojik döngülerin doğallığının bozulmasına neden olur [10]. Bu sorunların oluşmaması ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için suyun miktarının ve kalitesinin izlenmesi ile sucul ekosistemlerin bütüncül olarak bir arada değerlendirilmesi gerekir. Bu bağlamda, Avrupa'da su kaynaklarının korunması genel bir çevre meselesi olarak kabul edilmiş ve korumacı mevzuatlar hazırlanmıştır. İlgili mevzuatların gelişim süreçleri üç farklı dönemde ele alınmaktadır [11]:

- 1975-1980 yılları arasındaki birinci dönem su kalite hedeflerinin ortaya konulduğu dönemdir. Bu dönemde ana tema halk sağlığıdır. Özellikle, içme suyu, yüzme suları, balıkların ve kabuklu deniz canlılarının yaşadığı sular ile yeraltı suları gibi belirli su türleri için çevresel kalite standartları ve emisyon sınır değerleri belirlenmiştir.
- 1981-1996 yılları arasındaki ikinci dönemde, mevcut mevzuatların gözden geçirilerek iyileştirilmesi ve kirliliğin azaltılması amaçlanmıştır. Bu dönemde, çevresel yönetim ve su kalitesini artırmak üzere önemli yasal düzenlemeler yapılmıştır. Bunlar arasında en öne çıkan düzenlemeler 1991 yılında hayata geçirilen Kentsel Atıksu Arıtma Direktifi, Nitrat Direktifi ve 1996 yılında yürürlüğe giren Entegre Kirliliği Önleme ve Kontrolü Direktifi olmuştur.
- Üçüncü dönem, 1996 yılında başlatılmış ve halen devam etmektedir. Bu dönemde, Avrupa su politikası için önceki iki dönemin birleştirilmesi gerektiği ve Avrupa Birliği (AB) üye devletleri tarafından daha tutarlı bir mevzuatın oluşturulması hedeflenmiştir. Önceki direktiflerin yerini alan, entegre bir yaklaşım çerçevesi meydana getirilmiştir [12]. Su Çerçeve Direktifi (SÇD) adı altında 2000 yılına kadar oluşturulmuş olan mevzuatların anayasası olarak kabul edilen belge yayımlanmıştır.

SÇD toplamda 26 madde ve 11 ekten oluşmaktadır. Direktif 'in giriş bölümünde suyun ticari bir ürün olmadığı, korunması gereken bir miras olarak ele alınması gerektiği belirtilmiştir [12]. SÇD sucul ekosistem değerlendirmesinin kapsamını

önceki sınırların ötesinde genişletmiştir. Yüzey sularının kalitesini korumayı ve iyileştirmeyi amaçlayan yasal bir nehir havzası planlama süreci ilk kez SÇD ile uygulamaya koyulmuştur. SÇD'nin temel çevresel hedeflerinden biri 31 Aralık 2015 tarihine kadar nehirler, göller, geçiş suları ve kıyı suları gibi su bölgelerinde mevcut su kalitesi seviyenin iyi düzeye çıkartılmasıdır. Seviye sınıflandırması iyi düzeyden kötü düzeye doğru beş basamaklı bir ölçekle tanımlanmıştır. Bu kapsamda, fitoplanktonlar, fitobentoslar, makrofitler, sucul bitkiler, deniz omurgasızları ve balıklar gibi bir dizi biyolojik unsuru, su kimyasının ve akışının ve fiziksel yapının süreklilik değerlendirmelerinin yapılması istenmektedir. Bu değerlendirmelerin bütünü hidromorfolojik değerlendirme sistemi olarak adlandırılmıştır [13]. SÇD, AB üyesi ülkelerin su kaynaklarının durumları hakkında altı yılda bir ara rapor hazırlamalarını ve nihai hedeflerine ulaşmaları için hidromorfolojik değerlendirme raporlarını 2027 yılına kadar tamamlamalarını istemektedir. Böylece, SÇD ile birlikte hidromorfoloji, çevresel planlama, izleme ve raporlama süreçlerinde ekolojik durumların ortaya konulması için zorunlu bir tanımlayıcı unsur haline gelmiştir [14].

Hidromorfolojik değerlendirme sonucunda erişilecek faydalar aşağıdaki gibi sıralanabilir [12, 15]:

- Türe özgü hidromorfolojik koşullara karar verilir (SÇD Ek 2, 1.3). Özel bir protokol/değerlendirme yöntemi kullanılıp kullanılmadığı hakkında bilgi sağlar.
- Bir su kütlesinin daha iyi bir seviyeye ulaşmasına engel olan baskılar ortaya çıkarılır (SÇD Ek 2, 1.4).
- Su kütlelerinin tutarlı bir şekilde sınıflandırılması sağlanır (SÇD Ek 5, 1.1).
- Ağır şekilde değişmiş, yapay su kütlelerinin ekolojik potansiyeli tanımlanır (SÇD Ek 5, 1.2).
- Su kütlesinin koşullarının iyileştirilmesi ya da en doğal haline geri dönüşümü için tedbir programları oluşturulur (SÇD Madde 11).

Öte yandan SÇD içinde hidromorfoloji terimi doğrudan tanımlanmamıştır. Direktifte sadece hidromorfolojiye referans oluşturan ekolojik durumları ortaya koyan bazı kalite unsurları ve nehir habitatına ilişkin temel tanımlamalar mevcuttur (Tablo 1.1). Bu nedenle hidromorfoloji açısından SÇD'nin rehberliğinin sınırlı olduğu söylenebilir.

Tablo 1.1 SÇD'de bulunan hidromorfolojik kalite unsurları ve iyi düzey tanımlamaları [12]

Kalite unsuru	**İyi düzey**
Hidrolojik rejim	Akış miktarı ve dinamikleri ve bunun sonucunda yeraltı sularına olan bağlantının hiç bozulmamış ya da çok az değişime uğramış koşullarını yansıtır.
Nehir sürekliliği	Nehrin sürekliliğinin insan kaynaklı faaliyetlerin etkisinden uzak olduğu, sucul organizmaların ve tortu taşınımının bozulmadan hareket edebildiği koşulları yansıtır.
Morfolojik koşullar	Dere yatağının durumu, genişlik ve derinlik değişimleri, akış hızları, alt tabaka koşulları ve nehir kıyısı bölgelerinin yapısının hiç bozulmamış veya çok az değişime uğramış koşullarını yansıtır.

1.1 Literatür Özeti

Hidromorfoloji SÇD'nin yürürlüğe girmesiyle birlikte ortaya atılan bir kavram olmasına karşın hidromorfolojik çalışmaları gerçekte 2000 yılı öncesini de kapsar. İçinde hidromorfoloji ifadesi geçmese de hidroloji ve su kaynakları mühendisliği alanlarında yapılmış çok sayıda çalışmada bu izler gözlemlenebilmektedir. Diğer taraftan tarihsel süreçte hidromorfoloji üzerine yapılan tanımların birbirinden farklılaştığı görülmektedir. Yirminci yüzyılın başlarına kadar yapılan çalışmalarda hidromorfoloji ile kastedilen topraklar için bir sınıflandırma sistemidir [16]. Wilding ve Lin [17], hidromorfolojiyi toprak sınıflandırma sistemlerinin yapısını ortaya koymak ve toprağı nitelemek için genel bir terim olarak kullanmıştır. Newson ve Large [18] nehir yönetimi ve iyileştirilmesi çalışmalarına yön vermek için hidromorfoloji ile akarsu jeomorfolojisini tanımlamıştır. Orr vd. [19] hidromorfoloji teriminin tanımını tartışmaya açmış, Newson ve Large [18] tarafından ortaya atılan tanıma benzer şekilde hidromorfolojiyi, akış rejiminin ve akarsu jeomorfolojisinin oluşturduğu fiziksel habitat olarak tanımlamayı tercih etmiştir. Vaughan vd. [14], nehirlerdeki fiziksel habitatlar ve organizmalar arasındaki ilişkileri ortaya çıkarmak için biyo-jeomorfoloji, eko-jeomorfoloji, eko-hidroloji, hidro-ekoloji ve jeo-biyoloji gibi farklı kavramları incelemiş ve temel disiplinler olan ekoloji, hidroloji ve jeomorfolojiyi bir araya getirerek eko-hidromorfoloji tanımını benimsemiştir. Šípek vd. [20], hidromorfolojiyi, hidroloji, jeomorfoloji ve ekoloji gibi bilim alanlarının bir karışımı olarak ifade etmiştir. Bu tanım, SÇD'de su kütlelerindeki hidrolojik ve jeomorfolojik süreçleri tanımlamak için kullanılan kavram ile örtüşmektedir. Vogel [21] hidromorfoloji

terimini, jeoloji ile jeomorfoloji bilim dalları arasındaki ilişkiye benzer şekilde, hidroloji biliminin bir alt dalı olarak ifade etmiştir. Onlara göre hidromorfoloji, artan nüfus baskısı ve buna bağlı olarak gelişen kentleşme, tarım, sanayi gibi faktörlerin etkisi ile insanoğlunun topraktan ve sudan faydalanma şeklini etkileyen unsurların belirli bir zaman dilimindeki değişimlerinin izlenmesidir. Belletti vd. [22], hidroloji ve jeomorfoloji bilim dallarını birbirine bağlayan bir şemsiye disiplin olarak tanımlamıştır. Bizzi vd. [23], nehirlerin biyolojik kalitelerini arttırmak için destekleyici bir unsur olarak düşünmüş ve su kütlelerinin hidrolojik ve jeomorfolojik özelliklerinin bir bütünü olarak kabul etmiştir.

Diğer taraftan, SÇD'de irdelenen kalite unsurları göz önüne alındığında hidromorfoloji için yapılabilecek en genel tanım: Su kütlelerine yapılan farklı müdahalelerin ekoloji üzerine olan etkilerini tespit etmek için kullanılan bir araçtır. Daha kapsamlı bir tanım ise şöyle yapılabilir:

Hidromorfoloji, belirli bir zaman aralığında;

- Suyun kalitesinde, miktarında ve akışında,
- Su yatağında, taban yapısında ve kıyı/kenar bölgesinde,
- Su içi ile kıyıdaki habitat sürekliliğinde meydana gelen değişimleri izlemeye yönelik yapılan ölçümler ile ekolojik kalite düzeyini belirleme çalışmalarının bir bütünüdür.

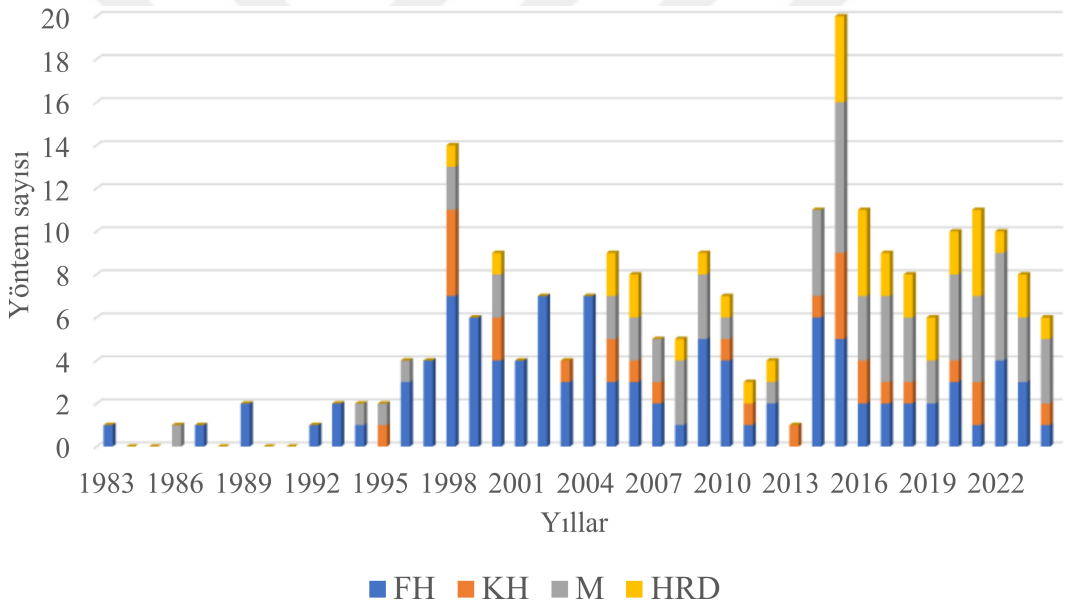
Hidrolojik ve jeomorfolojik nehir koşullarını değerlendirmek ve su kaynağını sınıflandırmak için bir dizi izleme yönteminin geliştirilmesi gerekir. Hidromorfolojik izleme yöntemi çalışma alanından, toplanan verilerden, uygulanabilirlik ölçütlerinden ve hedeflenen başarı ölçütlerinden etkilenir. Hidromorfolojik izleme çalışmalarının kökenine bakıldığında, yirminci yüzyılın sonlarına doğru gerçekleştirilen çalışmalar ile sucul canlıların yaşam alanlarının araştırılması ve fiziksel habitat oluşumlarının incelenmesi üzerine odaklanıldığı görülmektedir [24, 25]. Bu kapsamda ele alınan izleme çalışmalarında, habitat araştırmaları ile toplanan veriler kullanılarak sucul canlılar üzerinde oluşan fiziksel, morfolojik ve hidrolojik özelliklerin etkileri değerlendirilmiştir. SÇD ile birlikte farklı bir anlam kazanan yeni hidromorfoloji kavramı çalışmaların farklılaşmasını ve dolayısıyla kullanılacak olan detayların çeşitlilik göstermesini sağlamıştır. 2011 yılında başlayan *Hidromorfoloji ve SÇD'nin Çevresel Hedefleri İş Birliği Projesi* ile *REstoring rivers FOR effective catchment Management* (REFORM) çalışma grubu oluşturulmuştur. Nehirler için kullanılan mevcut izleme yöntemleri bu çalışma

grubu tarafından sınıflandırılmış ve 2013 yılında hazırlanan *Eko-hidromorfolojik Yöntemler Üzerine İnceleme* başlıklı AB raporu ile hidromorfoloji çalışmaları hedeflere ve temel karakteristiklere göre beş kategoride sınıflandırılmıştır [26]:

- Fiziksel habitat (FH) değerlendirme yöntemi: Nehir habitat araştırmaları ya da fiziksel habitat değerlendirmeleri olarak tanımlanan protokolleri içermektedir [22].
- Kıyı habitatı (KH) değerlendirme yöntemi: Nehir sistemlerinin ayrılmaz bir bileşeni olan sulak yaşam alanları ile bitki örtüsünü karakterize etmek ve değerlendirmek için geliştirilen yöntemleri içerir.
- Morfolojik (M) değerlendirme yöntemi: FH değerlendirme yönteminden farklı olarak morfolojik özellikleri, fiziksel süreçleri ve hidromorfoloji üzerindeki insan baskılarını hesaba katan, jeomorfolojik olarak çok daha geniş bir perspektife sahip yöntemleri içerir.
- Hidrolojik rejim değişimi (HRD) değerlendirme yöntemi: Bir nehrin doğal akışında ya da bir göl veya rezervuarın su seviyesinde insan faaliyetlerinin neden olduğu hidrolojik rejim değişikliğinin değerlendirilmesi için özel olarak geliştirilmiş yöntemleri içerir. Uluslararası ölçekte, diğer değerlendirme sistemleri ile karşılaştırıldığında, HRD kapsamında niceliksel değerlendirme için geliştirilmiş çok fazla yöntem yoktur. Genelde kullanılan mevcut yöntemler, hidrolojik rejimin beş ana bileşeni olarak bilinen, büyüklük, sıklık, zamanlama, süre ve deşarjların değişim hızı gibi değişkenleri analiz ederek değişim düzeyine karar verir [27].
- Balık sürekliliği (BS) değerlendirme yöntemi: Bir nehirdeki balık popülasyonu değerlendirilmesine yönelik yöntemler, nehrin akışını dik kesen bariyerlerin balık topluluklarının hareketi ve göçü üzerindeki etkilerini inceler. Bariyerlerin konumuna bağlı bir veri tabanı envanteri oluşturmayı hedefleyen sistemler BS temelli yöntemin ilk örnekleridir. Sonrasında bariyer geçirgenliğini, yapısal özellikleri ve balık türlerinin bariyerleri aşma kapasitelerini (yüzme/atlama yeteneklerini) değerlendiren sistemler geliştirilmiştir [26].

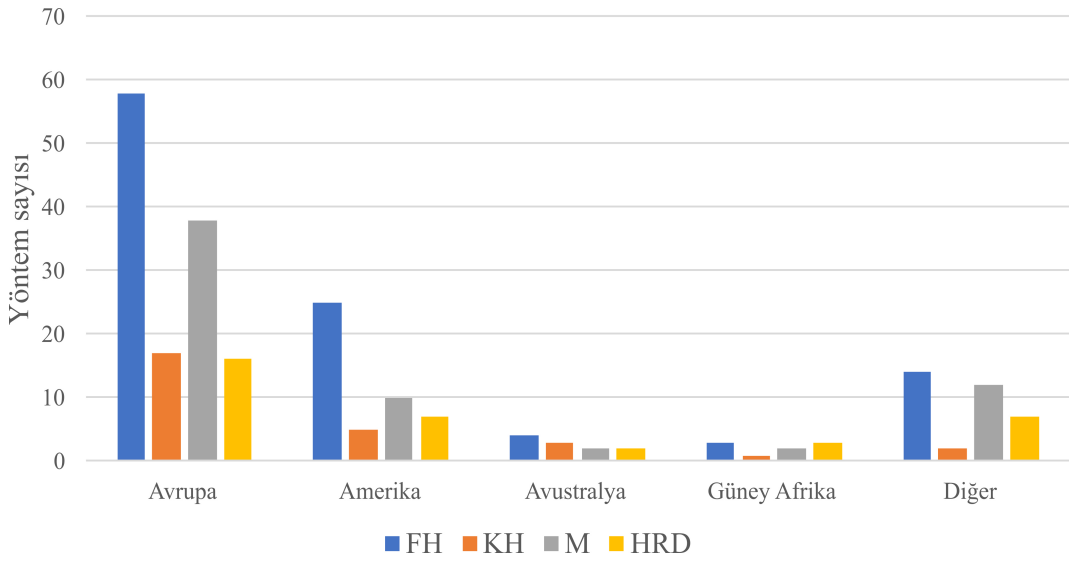
Literatür çalışmaları incelendiğinde, farklı yaklaşımların geliştirilmesi ve uygulanmasında zamansal bir eğilim görülmektedir (Şekil 1.2). Belletti vd. [22], 1983-2013 yılları arasında, ülkelerin kendi koşullarına uygun olarak geliştirdiği, 121 farklı hidromorfolojik değerlendirme yaklaşımının güçlü ve zayıf yönlerini ortaya koymuş ve farklı yaklaşımların birbirleri ile bütünleşme potansiyellerini

irdelemiştir. BS odaklı değerlendirmeler çok az kullanıldığından Belletti vd. [22] tarafından kapsam dışında tutulmuştur. Genel olarak, hidromorfoloji ile ilgili en eski değerlendirme yöntemlerinin 1980'li yılların başında ortaya çıktığı görülmektedir. 1990'lı yılların sonlarına kadar önerilen yöntemler genellikle FH odaklı araştırmalara dayanmaktadır. SÇD'nin yürürlüğe girmesiyle birlikte, özellikle Avrupa'da yeni yöntemlerin sayısında bir artış gözlemlenmiştir. Bunların büyük bir çoğunluğu yine FH tabanlıdır [28–58]. Belletti vd. [22], nehir kıyısını izlemeye dayanan göstergeleri genellikle FH dışındaki diğer değerlendirme yöntemlerinden birine dahil etmiştir. Ancak sulak yaşam alanlarına ait KH araştırmaları, nehir kıyı bölgesindeki habitatların karakterizasyonu için özel olarak tasarlanmış yöntemlerden biri olmuştur [59–71]. Nehirlerin restorasyon süreçlerinde, antropojenik etkilerin havza bazlı belirlenmesine yönelik artan ihtiyacın bir sonucu olarak M ve HRD değerlendirme yöntemlerinin kullanımında önemli bir artış yaşanmıştır [72–135].



Şekil 1.2 Hidromorfolojik değerlendirme yöntemlerinin kronolojik görünümü (Belletti vd. [22] çalışmasından revize edilmiştir)

SÇD ile ilgili hidromorfolojik değerlendirmeleri daha geniş bir bağlama oturtmak ve dünya çapında dört yöntem kategorisinin kullanımına ilişkin genel bir karşılaştırma yapabilmek için, AB'ye üye ülkeler dışında İsviçre, Galler ve Türkiye gibi üye olmayan ülkeler ile ABD, Avustralya, Güney Afrika, Kanada, Çin gibi kıta dışındaki ülkelerde kullanılan yöntemler incelenmiştir (Şekil 1.3). Dünya genelinde gelişmiş ülkeler tarafından yaygın olarak kullanılan hidromorfolojik değerlendirme yaklaşımları FH tabanlıdır. Son yıllarda ise M tabanlı yaklaşımların kullanımında önemli bir artış görülmektedir. Dört yönteminde genel olarak hâkim olduğu Avustralya ve Güney Afrika bu durumun istisna göstergeleridir.



Şekil 1.3 Hidromorfolojik değerlendirme kategorilerine göre ülkelerin kullandığı yöntemlerin sayısı (Rinaldi vd. [26] ve Belletti vd. [22] çalışmalarından revize edilmiştir)

Farklı kategorilerde yer alan çalışmalara örnek olarak, Feld [136], olumsuza doğru giden hidromorfolojik değişimi tanımlamak ve hidromorfolojinin değişimine neden olan parametreleri ortaya koymak için İsveç, Hollanda ve Almanya'da bulunan altı nehirde FH odaklı bir araştırma yapmıştır. Büyük ölçekli incelemede nehir havzasının büyüklüğü, jeolojik yapı ve doğal arazi kullanımının hidromorfolojik değişimi en iyi açıklayan değişkenler olduğunu belirtmiştir. Küçük ölçekli havzalarda ise nehir kıyısındaki bitki örtüsünde meydana gelen farklılaşmanın hidromorfolojik değişimi en iyi yansıtan özellik olduğunu tespit etmiştir. Dixon vd. [137] mevcut yöntemlerin sulak alanların sağlığını değerlendirmek için sınırlı olması ve daha geniş coğrafi alanlarda tutarlı bir yaklaşımın sağlanması amacıyla Kuzey Avustralya'nın ıslak/kuru tropikal bölgelerinde nehir kıyısı bölgelerının durumunu değerlendirmek için Tropical Rapid Appraisal of Riparian Condition (TRARC) yöntemini geliştirmiştir. Wiatkowski ve Tomczyk [138], Polonya'daki Oder, Bystrzyca ve Sleza nehirleri üzerine kurulan hidroelektrik santraller üstünde ve altında kalan akarsu kollarının 2016-2017 yılları arasındaki hidromorfolojik değişimini incelemiştir. Onlar, değerlendirmeyi iki adet FH, bir adet KH ve bir adet M tabanlı yaklaşım üzerinden yapmıştır. Kullanılan dört yaklaşımdan elde edilen sonuçlar birbirleriyle benzer çıkmıştır, ancak dikkate alınan detay sayıları ve bunların kapsamı göz önüne alındığında M tabanlı yaklaşımın uygulanmasını tavsiye etmişlerdir. Guo vd. [139] dünyanın en büyük havzalarından birine sahip olan Yangtze nehrinin kuzeyindeki ana kollardan biri olan Jialing nehrinde 1956-2020 yılları arasındaki iklim değişikliğine bağlı değişkenliği ve insan faaliyetlerinin hidrolojik değişikliklere olan etkisini Index

of Hydrologic Alteration-Range of Variability Approach (IHA-RVA) yöntemiyle değerlendirmiştir. Çalışmanın sonucunda aylık akıştaki değişimin, yıllık aşırı akış büyüklüğünün, insan faaliyetlerinin yüzey akışına olan etkisinin ve akış değişim sıklığının orta düzeyde olduğunu tespit etmiş ve kapsamda genel hidrolojik rejim değişiminin orta düzeyde olduğunu belirtmişlerdir.

Hidromorfolojik değerlendirme sürecinde, nehir yatağı boyunca yapılan gözlemlere ek olarak kıyı/kenar bölgesi ve taşkın yatağını da kapsayan geniş bir alandan veri toplanır. Su kütlelerinin ekolojik kalitesini ortaya koymak için nicel ve nitel yönleri kapsayan objektif değerlendirme yöntemlerinin geliştirilmesi gerekir. Hidromorfolojik izleme, planlı saha çalışmaları ve laboratuvar analizleri için önemli bir finansal yatırıma ihtiyaç duyar. Tecrübeli teknik personelin yanında maliyetli ekipmanların kullanımı gerekir. Bu bağlamda REFORM projesi ile, hidromorfolojik araştırmalar için resmi SÇD kılavuzlarını tamamlayan ve genişleten kapsamlı ve esnek bir değerlendirme metodolojisinin ana hatlarını çizen çok çözünürlüklü hiyerarşik bir çerçeve geliştirilmiştir [84]. Fakat pratikte hidromorfolojik değerlendirme yöntemlerinin büyük çoğunluğu hala farklı aşamalarda yapılan değerlendirmelerde ve nihai kararların verilmesinde uzman görüşlerine başvurmaktadır [23, 140]. Nehir hidromorfolojik değerlendirilmesinde, nehir ekosistemleri ve su toplulukları konusunda geniş bir deneyim ve çalışma alanı hakkında bilgi sahibi olunması gerekmektedir [141]. SÇD'de belirtilen yüksek ekolojik kaliteye ulaşmak için kapsamlı çevresel risk analizlerinin yapılması, kalite unsurlarının alternatifler üzerinden değerlendirilmesi, en uygun hareket tarzının seçilmesi ile kabul edilebilir bir karara varılabilir. Çok kriterli karar verme (ÇKKV) analizi, hidromorfolojik değerlendirme süreçlerindeki zorlukları basitleştirmek [142, 143] ve nehir risk yönetimi stratejilerini formüle etmek için kullanılan önemli alternatiflerden biridir [144]. Zaman ve kaynakların kısıtlı olduğu durumlarda uzman görüşünün iyi bir çözüm olduğunu tüm çevreler tarafından kabul edilmektedir [145]. Langhans vd. [142], İsviçre, Almanya ve ABD'deki nehirlerde hidromorfolojik değerlendirme amaçlı olarak geliştirilen üç farklı yöntemin sonuçlarını karşılaştırmak ve bunları entegre edebilmek için Multi-Attribute Value Theory (MAVT) ÇKKV yaklaşımının başarılı sonuçlar sağladığını belirtmiştir. Feio vd. [141] uzman görüşlerinin nicel değerlendirmeler ve ölçümler kadar başarılı olup olmadığını hız ve maliyet kriterlerini gözeterek ÇKKV yaklaşımları üzerinden test etmiştir. Çalışma, uzman görüşünün bir nehrin ekolojik kalitesini belirlemede kullanılabileceğini ve uzmanlar tarafından yapılan değerlendirmelerin istatistiksel sonuçlar ile çok benzer olduğunu ortaya koymuştur. Haron vd. [143] hidromorfolojik değerlendirmede baskın parametreleri belirlemek için ÇKKV yaklaşımını kullanmıştır.

Türkiye'de ulusal bir hidromorfolojik değerlendirme yöntemi henüz oluşturulmamıştır. Diğer taraftan dünyada kullanılan hidromorfolojik değerlendirme yöntemlerinin incelendiği bir çalışma Kılınç ve Kay [146] tarafından yapılmıştır. Toplam 25 farklı yaklaşımın karşılaştırmalı olarak incelendiği bu çalışmada, hidromorfolojik değerlendirme yaklaşımlarının kullandığı parametreler ve göreli önem dereceleri, İngiltere, İskoçya ve İrlanda Çevre Ajanslarında çalışan hidromorfoloji uzmanlarının görüşleri dikkate alınarak, analitik hiyerarşi süreci (AHP) ile test edilmiştir. Türkiye için en uygun yaklaşım olarak AB üyesi ülkelerden biri olan Slovenya'nın "Methodology for Assessing Hydromorphological Status" (SHIM) adlı yöntemi ve AB üyesi olmayan Güney Afrika'nın "Index of Habitat Integrity" (IHI) olarak belirtilmiştir. Bu inceleme, Türkiye nehirler ağları için özel bir hidromorfolojik değerlendirme yaklaşımının geliştirilmesine temel oluşturacak niteliktedir.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, nehirlerdeki hidromorfolojik değişime neden olan unsurların SÇD doğrultusunda belirlenmesi ve bu değişimlerin izlenmesine yönelik yenilikçi bir yaklaşımın Türkiye özelinde oluşturulması amaçlanmıştır. Avrupa'daki gelişmiş ülkelerde uygulanan yöntemler göz önüne alınarak, Türkiye'nin özgün koşullarına uygun bir izleme metodolojisi geliştirilmiştir.

1.3 Hipotez

Çalışma aşağıdaki hipotezlere dayandırılmaktadır:

- Topografik haritalar bir ülke sınırları içinde kalan yeryüzü üzerindeki doğal ve yapay objeleri, yeryüzü şekillerini ve bitki örtüsünü ortaya koyan belirli bir ölçek dahilinde oluşturulmuş harita serileridir. Türkiye için 1:1000 ölçeğinden 1:250K ölçeğine kadar oluşturulmuş standart topografik harita serileri mevcuttur. 1:1000 ve 1:5000 ölçekli topografik harita serileri yerleşim bölgelerini ve yakın çevresini kapsar. 1:25K ölçekli standart topografik harita serileri ise Türkiye'nin tamamını kapsayacak şekilde hazırlanmıştır. Bu haritalar belirli periyotlarda yeryüzündeki değişimleri gösterebilmek için güncellenir. Bu kapsamda, nehir hidromorfolojilerine etki eden kriterlerin izlenmesinde güncel topografik haritaların yanında eski tarihli (arşiv) haritalar gereksinimleri karşılayacak temel veri altlığı oluşturabilir.
- Hidromorfolojik değişim düzeylerinin belirlenmesinde AHP gibi çok bilinen

ve yeni geliştirilen ÇKKV yöntemleri alternatif bir yaklaşım sunabilir.

- Hidrolojik model, su döngüsünü ve döngüyü etkileyen taşınım süreçlerini simüle etmek için kullanılan matematiksel bir araçtır. Suyun bir bölgede nasıl hareket ettiğini anlamak, su kaynaklarını yönetmek ve çevresel değişikliklerin etkilerini tahmin etmek amacıyla geliştirilmiştir. Hidromorfolojik değişime etki eden sediment taşınımı, erozyon ve debi gibi kriterlerin geçmişe yönelik değerlerini türetmede kullanılabilmektedir. Bu kapsamda, nehir hidromorfolojilerine etki eden bu tür kriterlerin referans düzeylerinin belirleme gereksinimlerini karşılayabilir.

- Uzman görüşleri her zaman hidromorfoloji çalışmalarını etkileyen en önemli unsurlardan biri olmuştur. Hidromorfolojik dinamikleri anlama ve saha çalışmaları yoluyla elde edilen bilgileri değerlendirme sürecine entegre etme konularında uzmanlar kritik bir rol oynar. Bu kapsamda, uzmanların bilgi ve deneyimi ile, değerlendirme süreçlerinde güvenilirlik ve doğruluk sağlanabilir ve hidromorfolojik değişim düzeyi tutarlı bir şekilde belirlenebilir.

Tez çalışmasının 2. bölümünde, nehir hidromorfolojisi ile ilgili uluslararası ve ulusal teknik standartlar hakkında bilgiler verilmiştir. 3. bölümde, çalışma alanı ve hidromorfolojik değişim analizi için kullanılan metodolojiler detaylı bir şekilde açıklanmıştır. 4. bölümde, nehir hidromorfolojik değişimlerinde alternatif olarak sunulan ÇKKV yöntemlerine dair açıklamalara yer verilmiştir. 5. bölümde ise elde edilen bulgular ve değişim analizine ilişkin sonuçlar değerlendirilmiştir. 6. ve son bölüm, tez çalışmasının genel değerlendirmeleri yapılarak tamamlanmıştır.

2
HİDROMORFOLOJİK İZLEME İÇİN TEKNİK STANDARTLAR

Avrupa'nın farklı ülkelerinde hidromorfolojik değerlendirme için standart bir yaklaşımın geliştirilmesi hidromorfolojik değişimlerin anlamlı bir şekilde karşılaştırılmasına olanak tanır [13]. Buna karşın, Avrupa'nın değişken topografyasında su kütlelerinin özelliklerini standart şekilde belirlemek ve değerlendirmek oldukça zordur. SÇD kılavuzunda ekolojik değişim düzeyine karar vermek için habitat değerlendirme kriterleri ve kılavuzun eklerinde kalite unsurlarının izlenmesine yönelik genel standartlar tanımlanmıştır [147]. Kılavuzun ek 5 dokümanı içinde kalite unsurlarının izlenmesine yönelik genel standartlar mevcuttur. Hidromorfolojik kalite düzeylerinin belirlenmesi için Avrupa Standartlar Komitesi (European Committee for Standardization - CEN) ve Uluslararası Standartlar Örgütü (International Organization for Standardization - ISO) tarafından sağlanan rehber standartların kullanılması önerilmiştir. CEN'nin nehir hidromorfolojisinin değerlendirilmesine yönelik rehberlik geliştirme çalışmaları, su analizi teknik komitesine rapor veren biyolojik ve ekolojik değerlendirme yöntemleri çalışma grubu bünyesinde yer alan su kütlesi özellikleri görev grubu tarafından yürütülmüştür. Nehirlerin hidromorfolojik özelliklerinin değerlendirilmesi için CEN standardının oluşturulmasına yönelik çalışmalar Eylül 1999'da başlanmış ve Kasım 2004'te EN 14614 kodlu Su Kalitesi – Nehirlerin Hidromorfolojik Detaylarının Değerlendirilmesi için Rehber Standart'ın ortaya çıkarılması ile sonuçlanmıştır [148]. Standardın hazırlanmasında ilk olarak İngiltere, Almanya, Fransa, Avusturya, İtalya ve Finlandiya'dan uzmanlar görev almış, sonrasında Hollanda, Polonya, İsviçre, Romanya ve Slovenya'dan uzmanlar standardın geliştirilmesine katkıda bulunmuştur. Rehber standardın içinde, hidromorfolojinin kapsamı ve genel ilkelerinin dışında nehir hidromorfolojisinde değerlendirilmesi gereken unsurlara, saha araştırmalarının planlanmasına, toplanan verilerin yorumlanmasına ve sunulmasına yönelik ayrıntılı bilgiler bulunmaktadır. Oluşturulan standart bu yönüyle, nehir hidromorfolojisinin değerlendirilmesinde

herhangi bir resmi yönergesi olmayan AB ülkelerinin ortak bir standart altında kendi tekniklerini geliştirebilmelerine fırsat vermiştir.

EN 14614 dokümanının tamamlanmasının ardından 2010 yılında CEN tarafından EN 15843 kodlu, Su Kalitesi – Nehir Hidromorfolojisinin Değişim Düzeyinin Belirlenmesinde Rehber Standart başlığı altında ikinci bir doküman daha yayımlanmıştır [149]. Bu standart, dere yataklarını, nehir kıyısını ve sulak bölgeleri, taşkına eğilimli alanlardaki hidromorfolojik değişim düzeylerini daha geniş bir çerçeveden ele almayı hedeflemiştir. Standardın birincil amacı, basit puanlama sistemleri kullanılarak nehir hidromorfolojisi üzerindeki insani baskılarının bir sonucu olarak "doğallıktan uzaklaşma düzeyini" ortaya koymak ve hidromorfolojik detaylardaki değişiminin tespit edilmesine katkıda bulunabilecek uygun bilgi kaynaklarını önermektir. Bu tez çalışmasına yön vermesi nedeniyle bu iki rehber standardın ayrıntıları aşağıda verilmiştir.

2.1 EN 14614: Su Kalitesi – Nehirlerin Hidromorfolojik Detaylarının Değerlendirilmesi için Rehber Standart

2.1.1 Kapsam

Bu doküman, nehirlerin hidromorfolojik detaylarının tanımlanması ve değerlendirilmesi sırasında dikkate alınması gereken özelliklere ilişkin yol gösterici bilgiler sunar. Avrupa'da geliştirilmiş, denenmiş ve karşılaştırılmış metodolojilere odaklanır. Ana hedefi, hidromorfolojik araştırma yöntemleri, veri işleme prosedürleri, analizler ve bulguların sunumu arasındaki uyumluluğu ve karşılaştırılabilirliği artırmaktır. Hidromorfoloji, hidroloji ve altta yatan jeolojiyle ilişkilidir. Nehirlerin yapısal özellikleri ve nehir sürekliliği üzerine odaklıdır.

2.1.2 Terim ve Tanımlamalar

Bu standart dokümanın amaçları doğrultusunda, aşağıda verilen terimlerin bilinmesi ve ilgili tanımlarının yapılması zorunludur;

- Akarsu derecesi: Drenaj havzasının karmaşıklığına dayalı olarak bir akarsuyun sınıflandırılması yöntemidir. Yüksek dereceler, genellikle daha büyük deşarj miktarına sahip akışları ifade eder.
- Alt katman: Bir nehrin yatağını oluşturan alt tabaka malzemesidir.
- Banket: Bir nehir içinde, düşük akışlarda su seviyesinin üzerinde kalan, ancak yüksek akışlarda su altında kalan doğal veya yapay cisimlerdir.

- Bataklık: Bitki topluluklarının, özellikle sfagnum yosunlarının baskın olduğu durumlarda, uzun zaman dilimleri içinde turba birikimiyle karakterize edilen sulak alanlardır.
- Bitişik Ölçüm: Tüm nehir boyunca bitişik ölçüm birimlerinden toplanan veriler ile gerçekleştirilen sürekli ölçüm aktivitesidir.
- Ekolojik Durum: Su ekosistemlerinin yapısal ve fonksiyonel kalitesinin değerlendirilmesi, genel şartların referans şartlarla karşılaştırılması ile ifade edilen durumudur.
- Erişim: Bir nehrin veya nehir sisteminin, yukarı ve aşağı akış yönlerindeki diğer kısımlarından ayıran, özgün fiziksel, hidrolojik ve kimyasal özelliklerle tanımlanan temel alt bölümlerinden her biridir.
- Havuz: Genellikle yatağın kıyı genişliğinin bir ile üç katından daha uzun olmayan ve oyulmuş nehir yatağı profillerinin aşındırma ile sürdürüldüğü, yatağın belirgin şekilde daha derin kısımları ile karakterize edilen havuz habitatı özelliğidir. Su derinliğinin ortalamanın üstünde ve su hızının ortalamanın altında olduğu bir nehir ya da akıntının uzantısına karşılık gelir.
- Hidromorfoloji: Nehirlerin fiziksel ve hidrolojik özellikleri ve bunların altında yatan süreçleri tanımlar.
- İstinat duvarı: Erozyona karşı kıyı çizgisini stabil hale getirmek ve kıyıyı korumak amacıyla nehir boyunca inşa edilen yapılar.
- Kara yosunları: Karasuları ve yosunlar için kullanılan ortak terim. Genellikle yüksek arazideki akarsuların ana kayalarında bol miktarda bulunan bitkilerdir.
- Kıvrımlılık: Nehir yatağı uzunluğunun vadi uzunluğuna oranı ile (örneğin, düz bir çizgiden sapma derecesi) tanımlanır.
- Kıyı koruma duvarı (istihkam duvarı): Nehir yatağını veya nehir kıyısını korumak için kullanılan, taş içeren tel sepetlerden oluşan yapıdır.
- Kuş bakışı görünüş: Nehir deseninin yukarıdan görünüşüdür.
- Levha kazık: Düşey kıyı koruması için kullanılan oluklu metal levhalar gibi malzemelerdir.
- Nehir ile ilgili özellikler: Sedimantasyon ve erozyon süreçleri ile şekillenen doğal özelliklerdir.

- Nehir kıyı bölgesi: Su ekosisteminin durumunu doğrudan etkileyebilen bir nehir yatağına bitişik nehir kıyısı dahil arazi alanıdır.
- Nehir kıyısı bölgesi bitki örtüsü yapısı: Nehrin hemen yanındaki kıyılar ve arazilerde habitat oluşturan bitki örtüsünün fiziksel karakterini ifade eder. Örneğin ağaç veya çalılıklar ile otsu bitkilerin bir karışımı olan 'karmaşık' yapıda veya yalnızca otsu bitkilerden oluşan 'basit' yapıda olabilir.
- Nehir rehabilitasyonu: Bir nehrin tahribat öncesi durumuna kısmen geri döndürülmesi işlemidir. Kanalize edilmiş kolların plan şeklinin değiştirilmesi veya nehir kıyısı bitki örtüsünün dikilmesi örnek olarak verilebilir.
- Nehir türü: Temel fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre diğer gruplardan belirgin şekilde ayrılan nehir türleri grubudur.
- Nehir-göl kıyısı: Bir nehrin veya adanın normal su seviyesinin üzerinde olan ve sadece nehir akışının yüksek olduğu dönemlerde su altında kalan kalıcı tarafıdır.
- Nokta bariyer: Bir nehirdeki kıvrımın iç kısmında oluşan nehir tortusudur. Nokta bariyerleri olgun veya kıvrımlı akışlarda bol miktarda bulunur.
- Oluk: Kum/çakıl veya çakıl altlığı üzerinde, belirgin bir şekilde kırılmış veya bozulmuş yüzeyli, hızlı akan sığ su bölümüdür.
- Ölçüm birimi: Arazi araştırması sırasında verilerin toplandığı nehir uzunluğudur. Kullanılan metodolojiye bağlı olarak bu uzunluk sabit ya da değişken olabilir.
- Öznitelikler: Bir hidromorfolojik özelliğin özgül kaydedilmiş bileşenleridir. Örneğin, 'kayalar' ve 'silt' alt katman olarak tanımlanırken; 'çakıl' ve 'kil', nehir yatağının karakteristik öznitelikleri arasında yer alır.
- Referans koşullar: İnsan etkisinden arınmış veya yalnızca minimal bozulma belirtileri gösteren, doğal duruma yakın koşulları ifade eder. Ağır şekilde değiştirilmiş veya doğal koşullardan uzak sular için, SÇD'deki "yüksek ekolojik durum" ile eşanlamlı olarak kullanılır.
- Sığ su bölümü: Yüzeyi, ara sıra meydana gelen girdaplar haricinde bozulmamış ve dere yatağı boyunca sabit bir derinliğe sahip olan, orta hızda akıntıya sahip sulak alandır.
- Sıkıştırma: Fiziksel, kimyasal veya biyolojik süreçler yoluyla nehir yatağının sıkıştırılarak sağlamlaştırılması işlemidir.

- Su akışı: Yüzeyi bozulmamış ama kırılmış durumda olan hızlı akan su. Suyun derinleştiği ve akımın daha tekdüze olduğu bir oluğun hemen altındaki ara bir bölgedir.
- Su bendi: Akışın yüzey seviyesini kontrol etmek veya deşarjı ölçmek amacıyla kullanılan bir yapıdır. Nehir üzerine inşa edilen su bendi, suyun akış özelliklerini ve yüksekliğini değiştiren bir bariyer görevi görür. Genellikle, su bendin üzerinden serbestçe akarak daha düşük bir seviyeye ulaşmadan önce kontrol edilir.
- Sualtı bitki örtüsü: Yatağa kök salmış, tamamen batmış, sürgünlerinin sadece bir kısmı yüzen veya su yüzüne çıkan bitkilerdir.
- Sucul fotosentetik organizmalar/makrofitler: Çıplak gözle kolaylıkla ayırt edilebilen, tüm sucul damarlı bitkileri, karayosunlarını, algleri ve deniz yosunlarını kapsayan hem tatlı su hem de deniz florasını içeren bitkilerdir.
- Sulak alanlar: Kalıcı olarak su altında kalan ve genellikle kuru ortamlar arasındaki geçiş bölgesini işgal eden bataklık, çimen, geçici sığ su bölgeleri gibi sulak alan habitatlarıdır.
- Şeritlenmiş/Örgülü nehir yapısı: Tortu birikintileriyle doğal olarak bölünmüş bir nehir akışı, genellikle en az iki nehir yatağı ile nitelenir ve bu yatakların rotaları sıklıkla değişiklik gösterir.
- Taşkın yatağı (taşkın ovası): Periyodik olarak sel suları altında kalan veya tarihsel olarak kalmış olan, bir nehrin yanında bulunan vadi tabanıdır. Taşkın yatağı, nehir yatağının kıyılarından vadi sınırlarının tabanına kadar uzanır ve yüksek debi dönemlerinde sel baskınına uğrar. Toprakları genellikle sel esnasında biriken killer, siltler ve kumlar ile zenginleşir.
- Taşma sınırı: Taşkınların taşkın yatağına dökülmeden önce dere yatağı içinde tutulduğu nehir kıyısının maksimum noktasıdır.
- Toprak set (taşkını önleyen set): Yanındaki arazinin su baskını sıklığını azaltmak amacıyla doğal kıyı seviyesinin üzerine çıkarılarak inşa edilen yapay sınırdır.
- Yan bariyer: Nehir tarafından nispeten düz uzanımların kenarları boyunca oluşturulan ayrı tortu birikintileridir.
- Yanal bağlantı: Suyun dere yatağı ve taşkın yatağı arasında hareket edebildiği bölgedir.

- Yanal hareket: Bir nehir yatağının taşkın yatağında hareket etme özgürlüğüdür.

2.1.3 İlkeler

Nehir yatakları, nehir kenarları, kıyı bölgeleri ve taşkın yataklarının fiziksel özelliklerini sistematik bir şekilde kaydetmek için tanımlanmış standart bir değerlendirme protokolü bulunmaktadır. İncelenen özelliklerin geniş yelpazesi ve ölçümler için kullanılan metodolojiler, nehirlerin özgün karakteristiklerine ve araştırmanın spesifik hedeflerine göre değişiklik gösterir. Bu standart, çeşitli metodolojiler arasında ortak bir yapı sağlayarak, nehir türlerini tanımlamaya ve morfolojik bütünlüğü referans koşullarla karşılaştırarak daha detaylı bir şekilde değerlendirilme yapılmasına rehberlik eder.

2.1.4 Gereksinim Duyulan Ölçüler

2.1.4.1 Nehir Türlerinin Belirlenmesi

Nehir türlerinin tanımlanması ve belirlenmesi, hidromorfolojik özelliklere dayalı olarak benzer nehir türlerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılmasını kolaylaştırır. Bu, SÇD kapsamında bir gereklilik olup, nehirlerin durumunun ekolojik ve eşitlikçi bir şekilde karşılaştırılmasına imkân tanır. Her ne kadar bazı hidromorfolojik değerlendirme metodolojileri nehir türleri doğrudan ilişkilendirilmese de türlerin belirlenmesi, daha etkili nehir yönetimi için önemli bilgiler sağlar. Nehir türlerini tanımlamak için gereken temel bilgiler, haritalar veya havza genelindeki veri tabanlarından sağlanabilir. Saha çalışmaları sırasında toplanan veriler veya uzman görüşleriyle zenginleştirilebilir. Nehir türü tanımında dikkate alınması önerilen minimum faktörler şunlardır:

1. Büyüklük: Akarsu derecesi, havza büyüklüğü, ana kolun uzunluğu gibi bilgiler,
2. Eğim derecesi: Nehir yatağının eğimi,
3. Jeoloji: Silisyumlu, kireçli, karma, organik gibi sınıflandırılmış en az üç toprak kategorisi,
4. Coğrafi konum: Enlem ve boylam bilgileri,
5. Yükseklik: Havza içindeki su kaynağının bulunduğu yükseklik ile değerlendirilen alanın yüksekliğine dair bilgiler,

6. Hidrolojik rejim: Nehrin veya su kaynağının karakteristik akış örüntüleri dikkate alınır.

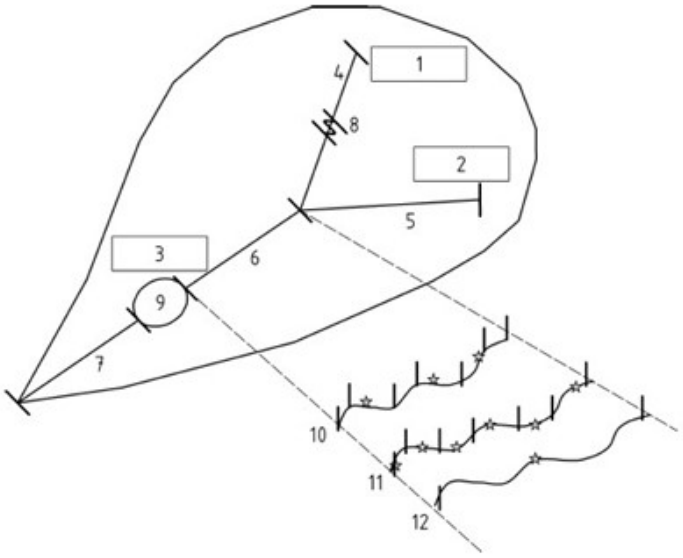
SÇD'nin yasal bağlamda nehir türlerinin türetilmesinde fiziksel ve kimyasal özelliklerin nasıl kullanıldığına dair bir örnek Tablo 2.1'de sunulmaktadır. Bu örnekte, nehirler ya bir dizi zorunlu 'tanımlayıcı' (Sistem A) ile birlikte ekolojik bölgelere göre ya da 'zorunlu ve isteğe bağlı faktörlere' (Sistem B) dayalı eşdeğer bir yaklaşım kullanılarak sınıflandırılmaktadır.

Tablo 2.1 SÇD'de nehirleri sınıflandırmak için kullanılan iki sistem

Sistem A	
Anahtar Faktörler	**Tanımlayıcılar**
Yükseklik	Yüksek –> 800 m Orta irtifa – 200 m ile 800 m Ova –< 200 m
Büyüklük (Havza alanına göre)	Küçük – 10 km^2 ile 100 km^2 Orta –> 100 km^2 ile 1000 km^2 Büyük – 1000 km^2 ile 10000 km^2 Çok büyük –> 10000 km^2
Jeoloji	Kireçli (kalsiyumlu) Silisyumlu Organik
Ekolojik bölge	SÇD'nin 11. ekinde ekolojik bölgeler hakkında detaylı bilgiler yer almaktadır
Sistem B	
Zorunlu faktörler	Yükseklik Enlem Boylam Jeoloji Büyüklük
İsteğe bağlı faktörler	Kaynaktan uzaklık Akış enerjisi (akış ve eğim fonksiyonu) Ortalama su genişliği Ortalama su derinliği Ortalama su eğimi Ana nehir yatağının biçimi ve şekli Nehir akıntısı (akış) kategorisi Vadi şekli Katı maddelerin taşınması Ortalama hava sıcaklığı Yağış

2.1.4.2 Nehir Erişim Kollarının Belirlenmesi

Nehir tipi, nehir erişimi ve ölçüm birimi arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılması araştırma stratejisini belirlemek ve değerlendirme yapmak için gereklidir (Şekil 3.8). Tekli bir havza ilk olarak nehir tiplerine ve sonrasında jeoloji, eğim, vadi şekli, kuşbakışı görünüm, akış, arazi kullanımı ve tortu taşınımı gibi faktörlere odaklı olarak erişimlerine bölünmelidir. Erişim, araştırma için birincil çerçeveyi sağlar. Erişimler, çeşitli araştırma stratejileri kullanılarak hidromorfolojik olarak karakterize edilebilir. Erişimler tek ve bitişik ölçümlerle araştırılır. Tek ölçüm, tüm erişim tek bir ölçüm biriminde değerlendirilir. Bitişik ölçüm, erişim bir dizi bitişik ölçüm birimine ayrılmıştır.



Anahtar

1 – Tür A	7 – Erişim C2
2 – Tür B	8 – Şelale (Çağlayan)
3 – Tür C	9 – Göl
4 – Erişim A1	10 – Bir erişimdeki örnek ölçü birimleri
5 – Erişim B1	11 – Sürekli ölçüm birimleri
6 – Erişim C1	12 – Tekli ölçüm Birimi

Şekil 2.1 Nehir ölçeği bağlamında belirlenen hidromorfolojik araştırmaya temel yaklaşım türlerini gösteren varsayımsal bir havza için 'tür', 'erişim', ölçüm birimi' ilişkisi

Ölçüm birimlerinin yerleştirilmesi, erişim boyunca rastgele veya istatistiksel olarak geçerli alternatif metodolojiler kullanılarak gerçekleştirilir. Ölçüm tasarımı, araştırmanın amaçlarına ve raporlama zorunluluklarına uygun olarak planlanmalıdır. Eğer birincil amaç, bir nehir erişiminin kapsamlı bir

değerlendirmesini yapmaksa, bu, daha küçük ölçüm birimlerinden elde edilen verilerin entegrasyonu ile sağlanır. Örneğin, SÇD çerçevesinde 'su kütlelerinin' durumunun raporlanması amacıyla, bireysel erişimlerin entegrasyonu da mümkündür. Bu gibi durumlarda, genel değerlendirme için bileşen erişimlerin göreli uzunlukları gözetilmelidir. Örnekleme protokolünün tercih edildiği senaryolarda, saha çalışması ağının yoğunluğunun, değerlendirilen nehir uzunluğunun genel karakteristiklerini yansıtacak şekilde yeterli olup olmadığına özen gösterilmelidir. Eğer araştırma, belirli bir etki alanına odaklanmaksızın, geniş bir bölgedeki nehirlerin hidromorfolojik özelliklerini tanımlamak üzere tasarlanmış ise belirli bir türdeki sahaların yalnızca bir bölümünün (örneğin, %10'unun) incelemesi için katmanlı rastgele örnekleme teknikleri uygulanabilir. Bununla birlikte, araştırmanın amacı belirli çevresel stres faktörlerinin hidromorfolojik özellikler üzerindeki etkilerini tespit etmek ise daha hedef odaklı bir araştırma yaklaşımı kullanılır.

Ölçüm biriminin uzunluğu, değerlendirme amacı ve incelenen nehrin boyutuna bağlı olarak değişir. Eğer bitişik ölçüm yöntemi tercih edilirse, ölçüm birimlerinin uzunluğu morfolojik homojenlik seviyesine göre 100 m, 500 m, 1 km ya da bu değerlere uygun değişen uzunluklar olarak belirlenmelidir. Yanal ölçüm sınırları, sadece nehir özelliklerini değil, aynı zamanda taşkın yatağının özelliklerini de kapsamalıdır. Büyük ve aktif, alt kısımlarda yer alan nehirler için bu özellikler nehir yatağından birkaç kilometre boyunca uzanabilir. Nehir vadisinin genişliği 100 metreyi aştığında hem nehrin hem de taşkın yatağının dahil edilmesini sağlayacak şekilde incelemeler yapılabilir. Toprak setlerin bulunduğu alanlarda, hidromorfolojik alan ölçümü bu setlerin ötesine uzanabilir. Potansiyel taşkın yatağının hidromorfolojik özelliklerinin, hidromorfolojik sınıflandırma şeması içerisine dahil edilmesi zorunlu değildir. Hidromorfolojik veriler, nehrin sol ve sağ kıyı çizgileri için toplanmalıdır, bu sayede her bir kıyı çizgisi için ayrı ya da bir bütün olarak değerlendirme yapılabilir.

2.1.4.3 Saha Ölçümlerinin Zamanlaması ve Sıklığı

Değerlendirmeler, tüm karakteristiklerin güvenilir bir şekilde tanımlanabileceği yılın belirli dönemlerinde gerçekleştirilmelidir. Bu, genellikle düşük akış dönemlerinde, yani akışların tamamen durmadığı zamanlarda, nehir yatağı, kıyı çizgisi ve nehir kenarındaki bitki örtüsünün tipi veya yapısının doğru bir şekilde belgelendirilebileceği zamanlarda olur. Ölçüm sıklığı, ideal olarak, hidromorfolojik değişimlerin hızına ve arazi kullanımındaki değişim oranına bağlı olarak ayarlanmalıdır. Ancak genel kural ölçümler arasındaki sürenin 10 yıldan fazla olmamasıdır.

2.1.4.4 Referans Koşulların Belirlenmesi

Hidromorfolojik referans koşullarının belirlenmesi kalite değerlendirmesinin ana adımdır. Diğer statü seviyeleri referans koşullara göre oluşturulur. Her bir nehir türü için tamamen veya büyük ölçüde bozulmamış koşullar referans koşulları yansıtır. Referans koşullar aşağıdaki çerçevede ele alınır:

1. Yatak ve kıyı çizgisi için referans koşul: Doğal hidromorfolojik süreçlerin bozulmadığını belirten, yerleşim yerlerinin dışındaki bölgelerde oluşturulan su yapılarının etkisinden bağımsız doğal malzemelerle oluşmuş yatak ve kıyı çizgileridir.

2. Kuşbakışı ve nehir profili için referans koşul: İnsan faaliyetleri ile açık şekilde değişmemiş nehir profilidir.

3. Yanal bağlantı ve yanal hareket özgürlüğü için referans koşul: Nehir yatağı ve taşkın yatağı arasında suyun serbestçe akışını veya nehir yatağının taşkın yatağı boyunca doğal olarak yer değiştirmesini engelleyen herhangi bir yapının olmadığı durumdur.

4. Nehir yatağında serbest su akışı ve tortu için referans koşul: Tortu, su ve canlı organizmaların doğal hareketlerini engelleyen herhangi bir iç akıntı veya yapısal değişikliğin olmadığı durumdur.

5. Kıyı bölgesindeki bitki örtüsü için referans koşul: Nehrin türüne ve coğrafi konumuna uygun olan doğal bitki örtüsünün varlığını ifade eden durumdur. Referans bitki örtüsü belirlenemiyorsa modelleme teknikleri veya uzman görüşleri aracılığı ile saptanabilir.

2.1.5 Veri Toplama ve Değerlendirme Bölgeleri

Araştırma ve değerlendirme için hidromorfolojik detaylar 10 kategori altında gruplandırılmıştır (Tablo 2.2). Nehir çevresindeki (a) nehir yatağı; (b) nehir kıyısı/nehir kenarı bölgesi; (c) taşkın yatağı olarak tanımlanan üç bölgeyi kapsamaktadır.

Tablo 2.2 Hidromorfolojik değerlendirmeyi oluşturan standart değerlendirme kategorileri

No	Değerlendirme Kategorileri	Genel Detaylar
	Nehir yatağı	
1	Yatak geometrisi	Kuşbakışı görünüm Boy kesit En kesit
2	Alt katmanlar	Yapay Doğal alt katman türleri
3	Nehir yatağı bitki örtüsü ve organik kalıntılar	Mevcut makrofitlerin yapısal formu Yapraklı ve odunsu kalıntılar Bitki Örtüsü Yönetimi
4	Erozyon/Tortu karakteri	Yataktaki ve nehir kıyısı altındaki özellikler
5	Akış	Akış paterni Akış özellikleri Tahliye rejimi
6	Yapay yapılardan etkilenen boyuna süreklilik	Biyota için akışın sürekliliğini, tortu taşınmasını ve göçünü etkileyen yapay engeller
	Nehir kıyı/kenar	
7	Kıyı yapısı ve değişiklikleri	Kıyı malzemeleri Kaplama duvarı/ kıyı korumanın türleri
8	Bitki örtüsü türü/komşu arazi ve kıyı üzerindeki yapılar	Bitki örtüsünün yapısı, bitki örtüsü yönetimi Arazi kullanımının türleri
	Taşkın yatağı	
9	Komşu arazi kullanımı ve ilişkili özellikler	Arazi kullanımının türleri Sulak alan özelliklerinin türleri
10	(a) nehir ve taşkın yatağının yanal bağlantı derecesi	Taşkın yatağı boyunca nehir yatağı ve su akışının potansiyel hareketliliğinin sınırlama derecesi
	(b) nehir yatağının yanal hareketi	Taşkın yatağının sürekliliği

2.1.6 Veri Toplama Prosedürü

Hidromorfolojik değerlendirmenin hedefine uygun olarak sahadan veri toplama işlemleri doğrudan başlatılmalı ya da mevcut verilerin—uzaktan algılama teknikleri ve tarihi veya güncel haritalar gibi—geniş çaplı kaynaklardan desteklenmelidir. Nehir kıyısı boyunca yürüyerek yapılan saha ölçümü, kapsamlı ve doğrudan veri toplama yöntemidir. Nehrin karşısındaki taşkın yatağı özellikleri net olarak görülemediğinde nehrin diğer tarafına geçmek gerekir. Erişim zorluklarının yaşandığı noktada tekne kullanımı yatak ve kıyı özelliklerinin incelenmesinde etkilidir. Nehir yatağına doğrudan erişimin mümkün olmadığı durumlarda (örneğin, nehir alt katmanlarının incelenmesi gerektiğinde) kıyıdan gözlemler yapılır. Koşullar her ne kadar zorlu olursa olsun nehir yatağının mümkün olduğunca incelenmesi önerilir. Sahada kullanılan kayıt cihazları, ölçüm yöntemleri ve incelenen özelliklerle ilgili detaylı ön hazırlık gereklidir. Veri toplanırken derinlemesine açıklamalar yapmak yerine, nehrin doğal veya yapay hidromorfolojik özelliklerinin ve özniteliklerinin varlığını ve yaygınlığını belgeleyerek nehri karakterize etmek önemlidir. Ölçü formlarıyla birlikte, belirli konumların detaylarını içeren fotoğraflar çekilmelidir. Bunlar, raporlama ve gelecekteki karşılaştırmalar için değerli bir kaynak oluşturur.

2.1.7 Hidromorfolojik Değerlendirme Odaklı Sınıflandırma ve Raporlama

Hidromorfolojik araştırma verilerinin değerlendirme süreci hedeflere göre değişiklik gösterir. Örneğin, yerel nehir yönetimine destek olmak için nehirlerin bozulmuş bölümlerinin rehabilite edilmesine yönelik yol göstermek, SÇD altındaki referans koşullarına uygun alanları ve erişim noktalarını belirlemek gerekir. Bu standart, ulusal düzeyde mevcut hidromorfolojik değerlendirme yöntemlerinin çeşitliliğini göz önünde bulundurarak, referans koşullarından olan sapmaların temel bir değerlendirmesine yönelik rehberlik sunar. Ulusal metodolojiler ve bunların ürettiği sonuçların daha detaylı karşılaştırılması, türe özgü tahminlere dayanan ve bir nehir içindeki fiziksel özelliklerin detaylı analizine olanak tanıyan uyumlu değerlendirmelere zemin hazırlamayı hedefler. Değerlendirme kriterlerinin ne ölçüde karşılandığının belirlenmesi, saha ölçümü ve tarihi haritalar, uzaktan algılama gibi diğer kaynaklardan elde edilen verilerin analizi yoluyla gerçekleştirilir.

2.1.8 Veri Sunumu

Bir nehir veya nehir erişiminin kapsamlı değerlendirmesi stratejik raporlama için gereklidir. Nehir yatağı, nehir kıyıları/kıyı bölgesi ve taşkın yatağı boyunca

değerlendirilen unsurların ayrı olarak ele alınması önemlidir. Bu bileşenler için haritaların yapılması sonuçların tam anlamıyla kavranmasına ve bilgilerin daha etkin kullanılabilmesine yardımcı olmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) teknolojisinin kullanılması, hidromorfolojik detaylar ve yapay değişiklikler arasındaki ilişkiler dahil, çeşitli ölçeklerde ve entegrasyon düzeylerinde bilgiler sunmayı mümkün kılar. SÇD, hidromorfolojik değişimin beş ayrı sınıfta raporlanmasını zorunlu kılar. Rehber standart, referans koşulları sınıf 1 (yüksek durum) olarak ve diğer durumları sınıf 2'den 5'e kadar tanımlayan eşdeğer bantlı beşli bir sınıflandırma sisteminin kullanılmasını tavsiye eder. Rehber standartta biyolojik durum SÇD değerlendirmeleri ile ilişkili tutulduğu için "iyi durum" ve "orta durum" gibi SÇD terimlerinden kaçınılması önerilir. Hidromorfolojik kalite haritaları oluşturulurken farklı renkler kullanılması tavsiye edilir. Sınıf 1'de ifade edilen referans koşullar mavi, sınıf 2 yeşil, sınıf 3 sarı, sınıf 4 turuncu ve sınıf 5 için kırmızı renk önerilmiştir.

2.2 EN 15843: Su Kalitesi – Nehir Hidromorfolojisinin Değişiklik/Değişim Derecesinin Belirlenmesinde Rehber Standart

Bu rehber standart Avrupa'daki nehirlerin uğradığı hidromorfolojik değişimlerin kapsamlı bir şekilde karşılaştırılmasına olanak sağlamayı hedeflemektedir. SÇD içerisinde tanımlanan ekolojik durum tespit zorunluluğu, nehir kalitesine dair geniş perspektifli bir anlayışın önemini pekiştirmiştir. Direktif, biyolojik toplulukların desteklenmesi amacıyla hidromorfolojik ve fizikokimyasal koşulların uygun olması gerektiğini belirtir. EN 14614, saha araştırmaları ve özelliklerin kaydedilmesi için detaylı bir protokol tanımlar ve nehir hidromorfolojik değişikliklerinin değerlendirilmesinde yol gösterir. EN 15843 ise özellikle insan kaynaklı baskıların nehirler üzerindeki etkilerine odaklanır ve bu etkilerin hidromorfolojik referans koşullarından ne derece sapma gösterdiğine dikkat çeker.

2.2.1 Kapsam

Bu standart, EN 14614'te tanımlanan nehir hidromorfolojik değişikliklerin karakterizasyonuna yönelik rehberlik sunar. Her iki standart da hidrolojiden çok morfolojiye ve ölçülmesi daha zor olan dikey süreklilikten çok yanal ve boyuna sürekliliğe odaklanmıştır. Bu standartların temel amacı, insan kaynaklı baskıların nehir hidromorfolojisine etkisini ve "doğal olma durumundan sapmayı" değerlendirmektir ve hidromorfolojik değişimlerin tanımlanmasına katkı sağlayabilecek uygun bilgi kaynakları sunmaktadır. Bununla birlikte, bu standartlar yerel değerlendirme ve raporlama için geliştirilmiş metodolojilerin yerine geçme

amacı gütmeyip, bireysel erişimler veya havzalar bazında nehir yönetimine dair kararlar için gerekli olan yerel bilgiyi ve nehir türüne göre değişkenliği vurgular.

2.2.2 Nehirlerin Hidromorfolojik Değişikliklerinin Belirlenmesi

Değerlendirmeler EN 14614'te listelenen tüm kategoriler için yapılır ve bunlardan bazıları temel ve yardımcı detaylar olarak alt bölümlere ayrılmıştır (Tablo 2.3).

Tablo 2.3 Değişikliği belirlemek için "temel" ve "yardımcı" özellik kategorileri

Kategori	**Temel**	**Yardımcı**
1 Nehir yatak geometrisi		
1a Kuşbakışı görünüm	+	
1b Yatak kesiti (Boy ve en kesit)	+	
2 Alt katmanlar		
2a Yapay malzemenin kapsamı	+	
2b Değişen "doğal" alt tabaka karışımı veya karakter		+
3 Kanal bitki örtüsü ve organik kalıntı		
3a Su bitkileri yönetimi		+
3b Bekleniyorsa odunsu enkaz miktarı		+
4 Erozyon/tortu karakteri		+
5 Akış		
5a Erişimde yapay yatak içi yapıların etkileri	+	
5b Havza çapında değişimlerinin doğal akış karakterine etkileri	+	
5c Günlük akış değişikliğinin etkileri	+	
6 Yapay yapılardan etkilenen boyuna süreklilik	+	
7 Kıyı yapısı ve değişiklikleri	+	
8 Kıyılar ve bitişik arazi üzerindeki bitki örtüsü/yapısı	+	
9 Bitişik arazi kullanımı ve ilişkili özellikler	+	
10 Yatak-taşkın yatağı etkileşimleri		
10a Nehir ve taşkın yatağının yanal bağlantı derecesi	+	
10b Nehir yatağının yanal hareket derecesi	+	

Kullanıcılar hangi puanların nicel verilere, hangilerinin nitel açıklamalara dayandığını belirtmelidir. Bu durum değerlendirmeye duyulan güvenin derecesini belirler. Bu notlar, nehir hidromorfolojik değerlendirmesinin sonuçlarını gösteren haritalara da eklenmelidir. Kullanıcının puan tahsis etme konusunda emin olmadığı durumlarda ilgili özellik puansız bırakılmalıdır. Puanların çoğunluğunun beş bantlı ölçeklerden elde edildiği durumlarda kullanıcılar beş bantlı bir

sistemi korumak isteyebilirler. Çoğunluğun üç bantlı ölçeklerden elde edildiği durumlarda, kullanıcılar beş bantlı skorları Tablo 2.4'ü kullanarak üç bantlı puanlara dönüştürebilir.

Tablo 2.4 Puanlama bandı dönüşümü

5 bantlı puanlama	3 bantlı puanlama
1	1
2	1
3	3
4	5
5	5

Puanlama sisteminde, %0 ile %5 arasında değişiklik gösteren özellikler (1, 2a, 7, 8, 9, 10 gibi özellikler) için 1 puan atanmalıdır. Eğer kaydedilen değişiklik %0 - %1 arasında ise bu durumu vurgulamak için yıldız işareti (*) eklenmelidir. Yıldız işareti, nehir düzeyindeki son derece düşük değişim seviyelerini belirtmek için kullanılır. Öte yandan, aşırı değişim seviyelerini belirtmek için 5 puanı gösteren A işareti kullanılmalıdır. Tablo 2.3'de sıralanan özelliklerin jeomorfolojik ve ekolojik işlevleri açısından önemleri her zaman aynı olmaz. Buna karşın, atanmış puanların ağırlıklandırılmasını doğrulayan akademik çalışmalar henüz yapılmamıştır.

2.2.3 Hidromorfolojik Değişimlerin Yorumlanması ve Raporlanması

Beş sınıf kullanıldığında, hidromorfolojik modifikasyonlar için belirlenen terimler EN 14614'te önerilen renk kodları ile birlikte haritalarda temsil edilmelidir. Eğer sadece üç sınıf kullanılıyorsa, belirlenen hidromorfolojik modifikasyon terimleri yine aynı şekilde, belirli renk kodlarını kullanarak haritalar üzerinde gösterilmelidir. Bu terimler ve renk kodları, Tablo 2.5 ve Tablo 2.6'da detaylandırılmıştır. Her iki tabloda bulunan sınıfları tanımlamada kullanılan isimler ve ekolojik durum sınıflandırmaları arasında bağlantı olmadığını vurgulamak için SÇD'de kullanılan terimler bilinçli olarak farklılaştırılmıştır.

Tablo 2.5 Beş sınıf için sınıflandırma terimleri

Puan	Sınıf	Tanımlama	Harita Gösterimi
1 ile 1.5	1	Doğala yakın	Mavi
1.5 ile 2.5	2	Biraz Değişmiş	Yeşil
2.5 ile 3.5	3	Orta Derece Değişmiş	Sarı
3.5 ile 4.5	4	Kapsamlı Değişmiş	Turuncu
4.5 ile 5	5	Ağır/Ciddi Değişmiş	Kırmızı

Tablo 2.6 Üç sınıf için sınıflandırma terimleri

Puan	Sınıf	Tanımlama	Harita Gösterimi
1 ile 2.5	1	Neredeyse doğal – az değiştirilmiş	Mavi
2.5 ile 3.5	3	Az – orta derecede değiştirilmiş	Sarı
3.5 ile 5	5	Yoğun şekilde değiştirilmiş	Kırmızı

Temel özelliklerin gösterimi rakamlarla yapılırken, yardımcı özellikler italik olarak belirtilmiştir. Her özellik için puanlama, kullanılan iki sınıftan birine uygun olarak "A" veya "B" soneki ile verilmelidir. "N/A" ise uygulanamaz anlamına gelmektedir (Tablo 2.7).

Tablo 2.7 Protokol

Değerlendirilen Özellikler	Skor bandı A – Nicel	Skor bandı B – Nitel	Uygun yöntem örnekleri/veri kullanımı
1a: Kuşbakışı görünüm (Erişim odaklı)	1 = %0 ile %5 arası	1 = Doğala yakın görünüm	Haritalara başvurun ve tarihsel süreç ile, değişikliklerin mühendislik vb. sonucu ortaya çıkan bugünkü görünümünü karşılaştırın.
	2 = %5 ile %15 arası		
	3 = %15 ile %35 arası	3 = Erişimin bir bölümünde görünümdeki değişiklikler	Mühendislik inşaat ve bakım çalışmaları kayıtları (1a/1b).
	4 = %35 ile %75 arası		
	5 = %75'ten fazla	5 = Kuşbakışı görünüm, erişimin çoğunda değişti ise	Yerel/yönetim personeli/uzman
1b: Nehir yatağı bölümü (boy ve en kesit)	1 = % 0 ile % 5 arası	1 = Neredeyse doğal	değerlendirmesi (1b).
	2 = % 5 ile % 15 arası		
	3 = % 15 ile % 35 arası	3 = Orta düzeyde değişim	Anket verileri (1b).
	4 = % 35 ile % 75 arası		Genişlik/derinlik oranlarındaki değişikliklerin bilgisi (1b).
	5 = % 75'ten fazla	5 = Yoğun şekilde değişim	

Tablo 2.7 Protokol (devamı)

Değerlendirilen Özellikler	**Skor bandı A – Nicel**	**Skor bandı B – Nitel**	**Uygun yöntem örnekleri/veri kullanımı**
2a: Yapay malzemenin kapsamı	1 = %0 ile %1 arası 2 = %1 ile %5 arası 3 = %5 ile %15 arası 4 = %15 ile %30 arası 5 = %30'dan fazla	1 = Minimum yapay malzeme varlığı 3 = Küçük ile orta derecede yapay malzeme varlığı 5 = Yoğun oranda yapay malzemenin varlığı	Hidromorfolojik araştırma bilgileri (2a / 2b). Gözden geçirme anketleri ile yapılan gözlemler (2a / 2b).
2b: "Doğal" alt tabaka karışımı veya değiştirilmiş karakter	Özellik puanlanmadı.	1 = Doğala yakın karışım 3 = Biraz ile orta derecede değişen doğal karışım/karakter 5 = Oldukça değişen doğal karışım/karakter	Yerel/yönetim personeli/uzman değerlendirmesi (2b). Biyolojik örnekleme sırasında yapılan gözlemler
3a: Sucul bitki örtüsü yönetimi	Özellik puanlanmadı.	1 = Bitki örtüsü yönetimi yok veya çok az 3 = Orta düzeyde bitki örtüsü yönetimi 5 = Yüksek düzeyde bitki örtüsü yönetimi	

Tablo 2.7 Protokol (devamı)

Değerlendirilen Özellikler	**Skor bandı A – Nicel**	**Skor bandı B – Nitel**	**Uygun yöntem örnekleri/veri kullanımı**
3b: Bekleniyorsa odunsu döküntü miktarı	Özellik puanlanmadı.	1 = Odunsu döküntülerin doğal miktarına yakın 3 = Az ile orta derecede odunsu döküntü miktarının ve boyutunun değişmesi 5 = Büyük oranda odunsu döküntü miktarının ve boyutunun değişmesi	Odunsu döküntülerin yönetim puanının, erişim içindeki veya erişimden yukarı akıştaki yönetimden etkilenebileceğini unutmayın. Puanlamalar sadece odunsu döküntüler için verilmesine rağmen, diğer organik döküntülerin (ör. Yaprak paketleri) varlığı önemlidir ve nerede oluştuğuna dikkat edilmelidir.
4: Çakıl çubukları gibi nehir yatağı içindeki özelliklerin varlığı.	Özellik puanlanmadı.	1 = Erozyon / tortulaşma özellikleri doğala yakın koşulları yansıtır. 3 = Erozyon / biriktirme özellikleri, doğala yakın koşullardan orta düzeyde bir ayrımı yansıtır (beklenen özelliklerin% 10 ila% 50'si yoktur). 5 = Erozyon / biriktirme özellikleri, doğala yakın koşullardan büyük bir ayrımı yansıtır (beklenen özelliklerin % 50'sinden fazlası yoktur).	Kullanıcılar, hangi verilerin kullanıldığını, nasıl toplandığını, nasıl kullanıldığını ve erozyon ve biriktirme özelliklerinin bulunup bulunmayacağını belirlemede sahip oldukları güven düzeyini belirtmelidir.

Tablo 2.7 Protokol (devamı)

Değerlendirilen Özellikler	**Skor bandı A – Nicel**	**Skor bandı B – Nitel**	**Uygun yöntem örnekleri/veri kullanımı**
5a: Nehir yatağı içi yapay yapıların erişim alanındaki etkileri	Özellik puanlanmadı.	1= Akış karakteri, erişim içindeki yapılardan etkilenmiyor veya sadece biraz etkileniyor ise 3 = Akış karakteri orta derecede değişim gösteriyorsa 5 = Akış karakteri büyük ölçüde değişim gösteriyorsa	Yerel/yönetim personeli/uzman değerlendirmesi (5a / 5b) Hidromorfolojik ve keşif araştırmaları (5a) Hava fotoğrafları (5a)
5b: Havza genelindeki değişikliklerin doğal akış karakterine etkileri	İlkbahar, yaz, sonbahar ve kış dönemlerinde akışı değerlendirin ve en kötü (en yüksek) puanı 5b puanı olarak alın.	1 = Doğal yakın deşarj 3 = Orta derecede deşarj 5 = Büyük oranda deşarj	Akış haritaları veya alan istatistikleri
5c: Günlük akış değişikliğinin etkileri	1 = Doğal günlük akış değişikliklerinde değişim yok 2 = %2 ile %5 3 = %5 ile %20 4 = %20 ile %40 5 = %40 ve daha fazlası	1 = Hızlı akış rampası veya tepe noktası oluşmaz ise (zamanın %5'inden az) 3 = Nadir (zamanın yaklaşık %5 ile %20'si) 5 = Düzenli akış rampalama veya zirveye ulaşma var ise	Yerel/yönetim personeli/uzman değerlendirmesi. Günlük veya tercihen saatlik akış kayıtları

Tablo 2.7 Protokol (devamı)

Değerlendirilen Özellikler	**Skor bandı A – Nicel**	**Skor bandı B – Nitel**	**Uygun yöntem örnekleri/veri kullanımı**
6: Su bentlerinin ve savakların biyotanın (örn. göç eden balıklar) geçiş kabiliyeti ve sedimanın doğal yollarla taşınması doğal olarak taşınabilme yeteneği üzerindeki erişim bazlı ve yerel etkileri	Özellik puanlanmadı.	1 = Yapı yok veya varsa göç veya tortu taşınması üzerinde hiçbir etkisi yok 3 = Mevcut yapılar ancak biyota ve tortu taşınması üzerinde sadece küçük veya orta derecede etkileri olan yapılar 5 = Genel olarak tüm türlere ve tortulara engel olan yapılar	Yerel/yönetim personeli/uzman değerlendirmesi. Hava fotoğrafları Balıkçılık personeli Yapıları değerlendiren özel anketler

Tablo 2.7 Protokol (devamı)

Değerlendirilen Özellikler	**Skor bandı A – Nicel**	**Skor bandı B – Nitel**	**Uygun yöntem örnekleri/veri kullanımı**
7: Suni nehir kıyı materyallerinden etkilenen erişimin kapsamı (nehir kıyı uzunluğunun yüzdesi)	1 = %0 ile %5 sert veya %0 ile %10 yumuşak 2 = %5 ile %15 sert veya %10 ile %50 yumuşak 3 = %15 ile %35 sert veya %50 ile %100 yumuşak 4 = %35 ile %75 sert yapay malzeme 5 = %75'ten fazla sert yapay malzeme	1= Sert yapay malzemelerden etkilenmeyen veya yalnızca az düzeyde etkilenen 3 = Sert yapay malzemelerden hafif veya orta derecede etkilenen 5 = Sert yapay malzemelerden oluşan kıyıların çoğunluğu	Yerel/yönetim personeli/uzman değerlendirmesi Hidromorfolojik araştırmaları Hava fotoğrafları
8: Kıyı bölgesinde arazi örtüsü (kıyı uzunluğunun yüzdesi)	1 = Kıyı bölgesinde % 0 ile %5 arasında doğal olmayan arazi örtüsü. 2 = Kıyı bölgesinde %5 ile %15 arasında doğal olmayan arazi örtüsü 3 = Kıyı bölgesinde %15 ile %35 arasında doğal olmayan arazi örtüsü 4 = Kıyı bölgesinde %35 ile %75 arasında doğal olmayan arazi örtüsü 5 = Kıyı bölgesinde %75 ten fazla doğal olmayan arazi örtüsü	1 = Kıyı bölgesinde doğal olmayan arazi örtüsüne sahip alanlar yok veya çok az mevcut ise 3 = Doğal olmayan arazi örtüsüne sahip, kıyı bölgelerinin orta derecede değişimi 5 = Kıyı bölgesinde doğal olmayan arazi örtüsü	Hidromorfolojik araştırmalar Yerel bilgi Veri tabanları Hava fotoğrafları

Tablo 2.7 Protokol (devamı)

DeğerlendirilenÖzellikler	**Skor bandı A – Nicel**	**Skor bandı B – Nitel**	**Uygun yöntem örnekleri / veri kullanımı**
9: Kıyı bölgesinin ötesindeki arazi örtüsü	1 = Kıyısal bölgenin ötesinde %0 ile %5 doğal olmayan arazi örtüsü 2 = Kıyısal bölgenin ötesinde %5 ile %15 doğal olmayan arazi örtüsü 3 = Kıyısal bölgenin ötesinde %15 ile %35 doğal olmayan arazi örtüsü 4 = Kıyısal bölgenin ötesinde %35 ile %75 doğal olmayan arazi örtüsü 5 = Kıyısal bölgenin ötesinde %75'ten fazla doğal olmayan arazi örtüsü	1 = Doğal olmayan arazi örtüsüne sahip nehir kıyısının ötesinde hiçbir alan yoktur veya çok azdır 3 = Doğal olmayan arazi örtüsü ile nehir kıyısının ötesinde nehir koridorunun orta derecede değişimi 5 = Nehir kıyısı bölgesinin ötesinde doğal olmayan arazi örtüsü sahip olma	Hidromorfolojik araştırmalar Yerel bilgi Veri tabanları UA verileri (örneğin hava fotoğrafları, uydu görüntüleri, özellikle büyük nehirler için) Keşif ölçmeleri

Tablo 2.7 Protokol (devamı)

Değerlendirilen Özellikler	**Skor bandı A – Nicel**	**Skor bandı B – Nitel**	**Uygun yöntem örnekleri / veri kullanımı**
10a: Nehir ve taşkın yatağının yanal bağlantı derecesi	Ulaşımda doğal olarak kıyı taşkını meydana gelmesi (Tarihsel)? Hayır ise – N/A. Evet ise, puanlama: 1 = %0 ile %5 arası 2 = %5 ile %15 arası 3 = %15 ile %35 arası 4 = %35 ile %75 arası 5 = %75'ten fazla	Ulaşımda doğal olarak kıyı taşkını meydana gelmesi (Tarihsel)? Hayır ise - N/A. Evet ise, puanlama: 1 = Minimum miktar 3 = Orta düzey 5 = Büyük değişim	Doğal taşkınların ne ölçüde kontrol edileceğini değerlendirmek için her türlü bilgiyi kullanın: Taşkın yatağında arazi kullanımı Kontrol yapıları (örneğin taşkınlar, taşkın duvarları) Mühendislik kayıtları Yerel bilgi Hidromorfolojik araştırmalar Hava fotoğrafları Tarihsel haritalar
10b: Nehir yatağının yanal hareket derecesi (Nehrin taşkın yatağı içinde doğal olarak göç etme kapasitesi) Nehir, insan yapımı herhangi bir kısıtlama olmadığında taşkın yatağının içinde yanal olarak hareket edecek mi?	Hayır ise – N/A. Evet ise, puanlama: 1 = % 0 ile % 5 arası 2 = % 5 ile % 15 arası 3 = % 15 ile % 35 arası 4 = % 35 ile % 75 arası 5 = % 75'ten fazla	Hayır ise - N/A. Evet ise, puanlama: 1 = Kısıtlama yok. 3 = Kısmen kısıtlanmış. 5 = Tamamen kısıtlanmış.	Mühendislik kayıtları ve varlık kayıtları Hidromorfolojik araştırmalar Hava fotoğrafları Gözden geçirme anketleri Yerel bilgi

2.3 Hidromorfolojik İzleme ve Değerlendirmede Türkiye'deki Gelişmeler

Ülkemizde bulunan, nehirler, göller, dereler, rezervuarlar, kıyı ve geçiş suları gibi yüzeysel su kaynakları ile yeraltı sularının kalitesinin etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesi, su kalitesinin korunması ve iyileştirilmesi, kalite sınıflarının belirlenmesi ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine erişilmesi için hukuki ve teknik temelleri belirleyen yasal düzenlemeler yapılması gerekir. Türkiye'de, su kaynaklarının geliştirilmesi ve yönetimi bağlamında, ilgili kurumların görev, yetki ve sorumluluklarına dair çeşitli kanunlar ve kanun hükmünde kararnameler mevcuttur. Bu mevzuatın uygulanışını düzenleyen geniş bir yelpazede yönetmelikler, tebliğler ve genelgeler bulunmaktadır [150]. Bunlar arasından 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmî Gazete' de yayımlanan "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY)", ulusal düzeyde su kaynaklarının muhafazasını temin eden kritik bir mevzuat olarak öne çıkmaktadır. Bu yönetmelik, su kaynaklarının korunmasıyla ilgili temel prensipleri, yasaklanan faaliyetleri, atıksu deşarjının yönetim ilkelerini, deşarj izinlerine ilişkin kriterleri, atıksu altyapısı tesislerine dair yönetmelikleri ve su kirliliğinin önlenmesine yönelik izleme ve denetim yöntemlerini içermektedir [151].

Ülkemizde, su kaynaklarının izlenmesi esas olarak fiziko-kimyasal parametreler üzerinden gerçekleştirildiği için su kalitesi bu parametrelere dayanarak sınıflandırılmaktadır. Bu yaklaşım, su kaynaklarının korunması ve iyileştirilmesi için alınacak tedbirlerin belirlenmesi açısından yetersiz kalmakta ve etkin planlamanın önünde ciddi bir engel oluşturmaktadır. Oysaki her bir su kaynağı için genel kimyasal, fiziko-kimyasal, biyolojik ve hidromorfolojik kalite elementlerini içerecek şekilde çevresel hedeflerin belirlenmesi gerekir. Bu bağlamda, Türkiye'de yüzeysel suların yanı sıra kıyı ve geçiş sularının biyolojik, kimyasal, fiziko-kimyasal ve hidromorfolojik kalitelerinin tespiti ve sınıflandırılması, su kalitesi ve miktarının izlenmesi, bu suların kullanım amaçlarının sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu olarak koruma ve kullanım dengesi çerçevesinde belirlenmesi ve korunması ve iyi su durumuna erişmek için gerekli tedbirlerin alınması hakkında yöntem ve ilkelerin tanımlanması amacıyla 11.02.2014 tarihli ve 28910 sayılı "Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik" yayımlanmıştır [152]. İlgili yönetmelikte hidromorfolojik izleme ile ilgili çeşitli tanımlamalar yapılmış ve hidromorfolojik kalite unsurları hakkında bilgiler paylaşılmıştır. Ancak, yerüstü sularında hidromorfolojik kalite bileşeninin izlenmesine ilişkin usul ve esasları belirleyecek bir standardizasyon mevcut değildir. Kısacası SÇD'nin gereklilikleri henüz karşılanmamıştır.

Diğer taraftan, Tarım ve Orman Bakanlığı nehir ve göllerde hidromorfolojik kalite bileşeninin izlenmesine ilişkin usul ve esasları belirleyerek hidromorfolojik izleme çalışmalarında standardizasyonu sağlamak maksadıyla hazırlanan "Nehir ve Göl Hidromorfolojik İzleme Tebliği"ni hazırlamıştır [153]. 28.01.2021 tarihli ve 31378 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren tebliğ, nehirler ve göllerde yürütülecek tüm hidromorfolojik izleme faaliyetlerinin standardize edilmesi ve bu süreçler kapsamında toplanan verilerin standart bir formatta sunulmasını hedeflemiştir. Hidromorfolojik izleme çalışmalarında kullanılmak üzere izleme alanlarının belirlenmesi, izlenecek parametreler, izleme periyotları ve sıklıkları, ayrıca arazi çalışmaları ve CBS kullanılarak hidromorfolojik parametrelerin izlenmesine dair detayları içermektedir. Nehir ve göller için hidromorfolojik izleme parametre listeleri, hidromorfolojik özelliklerin kayıtlarının alınabileceği bir protokol dosyası tebliğ eklerinde yer almaktadır. Ancak ilgili tebliğ Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından 25.04.2023 tarihli ve 32171 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan "Hidromorfolojik İzleme Tebliği" ile yürürlükten kaldırılmıştır [154]. Birinci tebliğde yer almayan diğer yerüstü su kaynakları ikinci tebliğe entegre edilerek SÇD gereklilikleri karşılanmaya ve hidromorfolojik izleme çalışmalarında standardizasyon yakalanmaya çalışılmıştır. Yürürlükteki mevcut tebliğ, 1 sayılı Cumhurbaşkanlığı Teşkilatı Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesinin 410 uncu ve 421 inci maddeleri ile 11/2/2014 tarihli ve 28910 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan "Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmeliğin" 24. maddesinin üçüncü fıkrasına dayalıdır.

2.4 Yürürlükteki Hidromorfolojik İzleme Tebliği

Yürürlükteki tebliğ, yerüstü su kaynaklarının hidromorfolojik kalitesinin izlenmesine yönelik yöntem ve ilkeleri saptamakta ve bu alandaki izleme faaliyetlerinde bir standart oluşturmayı hedeflemektedir. İzleme faaliyetleri için alan seçimi, anahtar parametreler, izleme zamanları, sıklıkları ve bu süreçteki eğitimlerle ilgili detayları açıklamaktadır [154].

Hidromorfolojik değerlendirme çalışmaları nehirler, doğal ve yapay göller ile kıyı ve geçiş sularında gerçekleştirilir. Bu çalışmalar, Tarım ve Orman Bakanlığı onaylı eğitim programlarını tamamlayarak Hidromorfolojik İzleme Sertifikası kazanan bireyler tarafından yapılmaktadır. Ayrıca, biyolojik ve kimyasal izleme çalışmalarının yapıldığı arazilerde, bu çalışmalarla eş zamanlı olarak ve genellikle aynı veya benzer lokasyonlarda gerçekleştirilir.

Hidromorfolojik izleme çalışmalarında su kütlelerinin hidrolojik rejimi, morfolojik

koşulları ve süreklilik durumu gibi parametreler incelenir. İzleme faaliyetlerinde kullanılacak alt parametreler Bakanlık tarafından belirlenir, bu parametrelerin saha izlemesi ve CBS üzerinden analizi için yönergeler hazırlanır. Bu rehber dokümanlar, Bakanlık web sitesinden yayımlanır ve en güncel versiyonlarının kullanımı sağlanır. Ayrıca, izleme faaliyetleri için saha erişilebilirliği, personelin sağlık ve güvenliği dikkate alınarak belirlenir ve gerekli izinler alınır. Elde edilen veriler, Bakanlıkça belirlenen yöntemlerle değerlendirilir ve izleme sıklığı ile parametreler, çalışmanın kapsamına bağlı olarak Bakanlık görüşü alınarak hazırlanır [154].

Hidromorfolojik izleme alanları, nehirlerde, doğal ve yapay göllerde, geçiş ve kıyı sularında belirli kriterlere göre tespit edilir. Nehirler için, biyolojik izleme yapılan noktadan 100 metre memba ve mansap yönünde uzanan en az 200 metrelik bir alan; ayrıca, nehir yatağı, kıyı seti, kıyı kenar bölgesi, taşkın yatağı ve kıyıdan itibaren her iki yönde 50 metre uzaklıktaki alanlar dâhil edilir. Göllerde ise, gölün büyüklüğüne bağlı olarak, yüzey alanı 50 hektarın altında olanlarda bir, 50-500 hektar arasında olanlarda iki, 500 hektardan büyük olanlarda ise üç biyolojik izleme noktasını kapsayacak şekilde, en az 100 metrelik bir kıyı şeridi belirlenir. Geçiş suları, nehir veya göl karakterine göre, yukarıda bahsedilen nehir ve göl izleme kuralları çerçevesinde tespit edilir. Kıyı sularında ise, biyolojik örneklemenin yapıldığı noktanın kıyıdaki iz düşüm noktasının sağ ve sol tarafında en az 100 metrelik bir kıyı şeridi belirlenir.

Nehir, doğal ve yapay göl, geçiş ve kıyı sularında hidromorfolojik izleme sıklıkları Bakanlık tarafından hazırlanan izleme programlarıyla belirlenir. Hidromorfolojik izleme çalışmaları; ilkbahar ve sonbahar dönemini kapsayacak şekilde yılda en az iki kez gerçekleştirilir. Bakanlık su kütlesinin durumuna göre söz konusu izleme sıklıklarını değiştirebilir ve bu doğrultuda izleme programlarını güncelleyebilir [154].

2.5 Hidromorfolojik İzleme Açısından Türkiye'nin Durumu

Ülkemizde Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından ilk olarak 2021 yılında ve sonrasında 2023 yılında hidromorfolojik izleme ile ilgili tebliğler yayımlanmıştır. İlk yayımlanan tebliğ sadece nehir ve göllerdeki izleme koşullarını içermiştir. İkinci tebliğ ise tüm yer üstü sulardaki hidromorfolojik izleme koşullarına ilişkin bilgileri içermiştir. Ancak her iki tebliğde de hidromorfolojik özelliklerin değerlendirilmesi ve değişim düzeyinin belirlenmesi açısından eksikler vardır. Hidromorfolojik izleme açısından tespit edilen eksikler aşağıda listelenmiştir:

- İkinci tebliğ tüm yer üstü sular için bir standardizasyon sağlamaya çalışmış olsa da tüm su kütleleri için kendilerine özgü koşulları yansıtan hidromorfolojik özellikler ve hidromorfolojik değişim düzeyinin ölçülmesi için kullanılacak stratejiler açısından sınırlıdır.

- Tebliğde yer alan tanımlamalar yetersizdir. Her bir su kütlesinin hidromorfolojik açıdan izlenmesi için kullanılacak parametreler ve bunlara bağlı alt parametreler değişeceğinden tanımlamaların zenginleştirilmesi gerekir.

- SÇD'nin yürürlüğe girmesiyle birlikte Avrupa'da her bir su kütlesinin hidromorfolojik izlemesi, özelliklerin belirlenmesi ve hidromorfolojik değişim düzeyinin ortaya konulması için ayrı ayrı rehber standartlar yayımlanmıştır. Bu standartlara bağlı olarak ülkeler kendilerine özgü koşulları yansıtan hidromorfolojik değerlendirme yöntemleri ortaya çıkarmıştır. Ülkemiz açısından bu tür standart rehberlik sağlayan dokümanlar incelenerek yönlendirici kılavuzların hazırlanması gerekir.

- Tüm su kütleleri için hidromorfolojik izleme parametrelerinin (protokol/form) bir listesi oluşturulmalıdır. Bu sayede, ülkemize özgü su kütlelerine olan hidromorfolojik baskılar belirlenmeli ve izleme çalışmaları bu parametrelere bağlı gerçekleştirilmelidir.

- Hidromorfolojik değişim düzeyinin belirlenmesinde parametrelerin puanlanması, hidromorfolojik değişimin sınıflara dayalı olarak raporlanması ve veri sunumlarının gerçekleştirilme yöntemleri ortaya konulmalıdır.

- Hidromorfolojik değişime etki eden parametrelere ilişkin geometrik verilerin toplanma süreci hakkında açıklayıcı bir döküman hazırlanmamıştır. Bu belgede saha araştırmalarına paralel olarak, geçmiş dönemlere ait eski haritalar ve hava fotoğraflarından yararlanma olanakları açıklanabilir. Ayrıca, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri veya insansız hava araçları (İHA) kullanılarak hidromorfolojik değişime etki eden parametrelerin çıkarılmasından söz edilebilir.

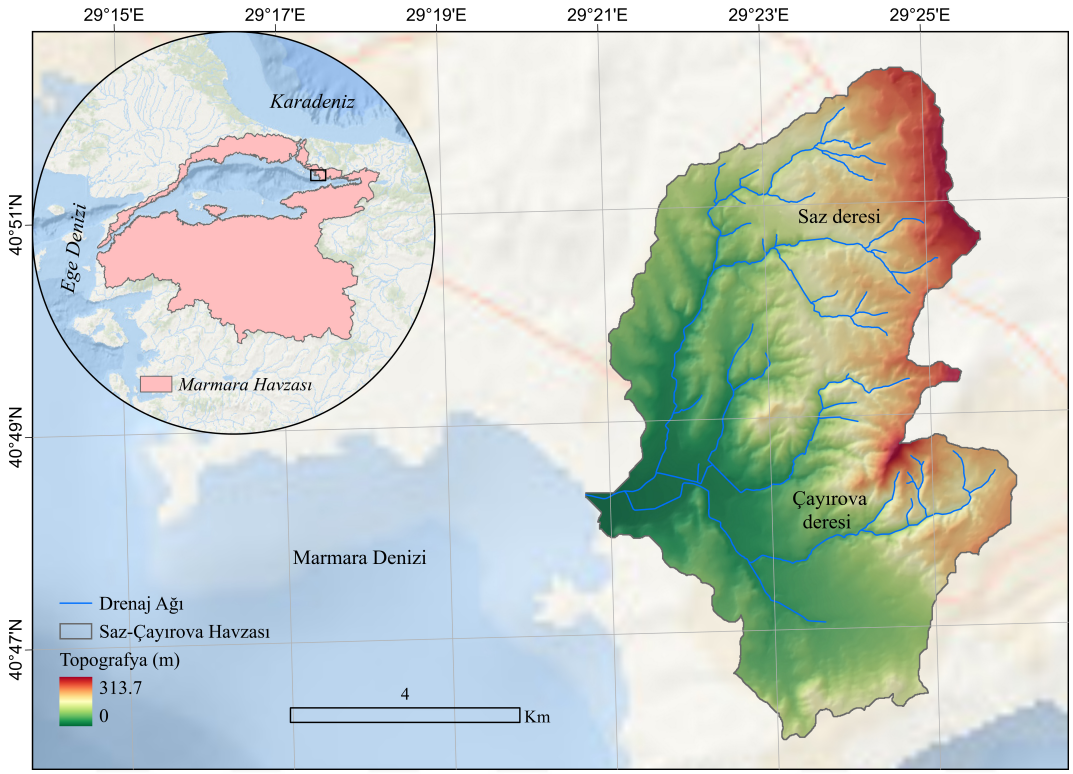
3
HİDROMORFOLOJİK DEĞİŞİM ANALİZİ

Bu tez çalışmasında hidromorfolojik değişim analizi, arazi çalışmalarına ve çeşitli kaynaklardan elde edilen veri setlerine dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Hidromorfolojik değişime neden olduğu düşünülen etkenler parametrik kriterler olarak tanımlandıktan sonra ÇKKV yöntemleri kullanılarak her bir kriterin hidromorfolojiye olan etkisi incelenmiştir. Analiz çalışması, sanayi ve endüstrileşmenin yoğun olduğu Kocaeli il sınırları içinde kalan Saz-Çayırova havzasında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1). Uygulama bölgesinde bir yıl boyunca düzenli arazi gezileri yapılmış ve tanımlanan kriterlerin bazıları için aylık ve günlük periyotta veri toplanmıştır. Saz-Çayırova havzasına ait eski tarihli veriler basılı ve dijital kaynaklardan toplanmıştır. Eski tarihli topografik haritalar ve ortofotolar elde edilmiş, bunlar üzerinden ihtiyaç duyulan vektör veriler sayısallaştırılarak CBS ortamına aktarılmıştır. Mekânsal veri kaynaklarından doğrudan elde edilemeyen bazı referans veriler, oluşturulan hidrolojik modeller yardımıyla türetilmiştir. Her bir kriter için Saz-Çayırova havzasının arşiv verilere dayalı olarak ortaya konulan referans koşulu ile güncel hali arasındaki fark CEN standartları göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Son aşamada kriter bazlı olarak ortaya konulan değişimler CBS tabanlı ÇKKV yöntemleri ile analiz edilmiş ve Saz-Çayırova havzası için hidromorfolojik değişim düzeyi belirlenmiştir.

3.1 Çalışma Bölgesi

Saz-Çayırova havzası Türkiye'nin en önemli endüstriyel bölgelerinden biri olan Kocaeli-İstanbul sınırında yer almaktadır. İki komşu dere olan Saz ve Çayırova'dan oluşan havza, yaklaşık 52 km^2'lik küçük ölçekli bir su toplama alanını kapsamaktadır [155]. Dere kollarının toplam uzunluğu yaklaşık 56 km'dir ve dere yatağı genişlikleri 2 ile 20 metre arasında değişmektedir. Çalışma sahası, sıcak ve nemli yazlar, soğuk ve yağışlı kışlar ile karakterize edilen Akdeniz ve Karadeniz iklimi arasındaki geçiş bölgesinde yer almaktadır. Yıllık ortalama yağış 720 mm iken sıcaklık ise ortalama 15 °C'dir [156]. Havza hâkim rüzgâr yönü

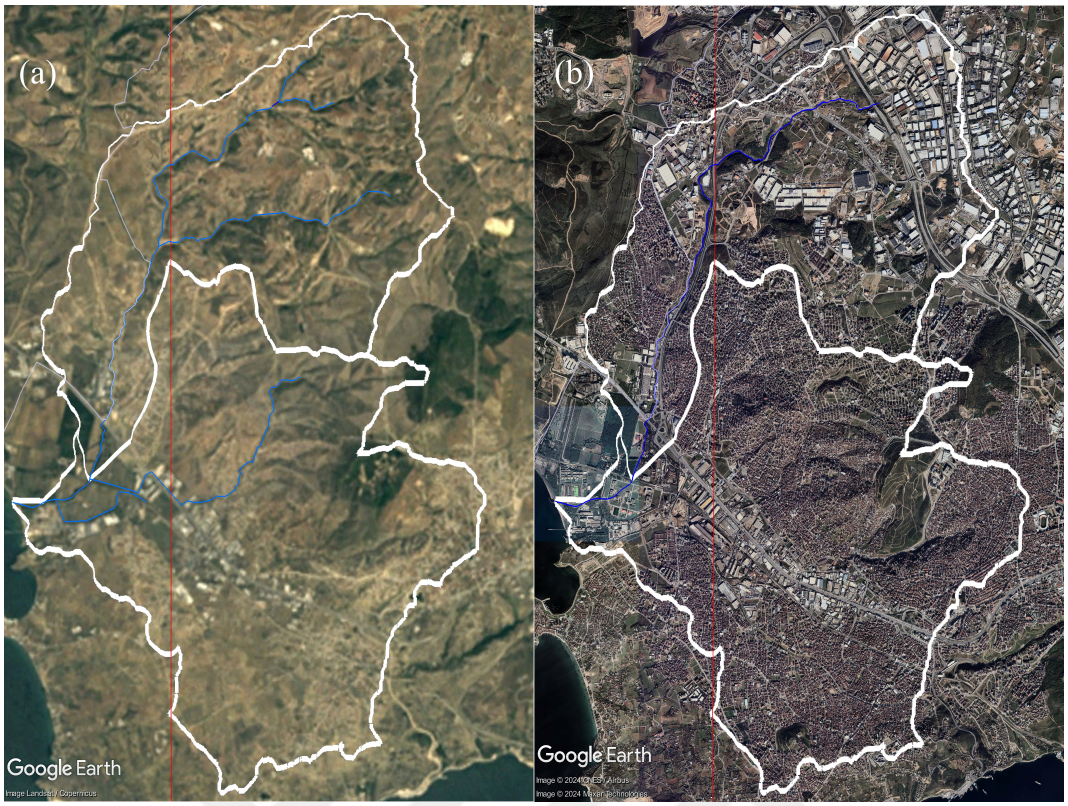
olarak %70 oranında Kuzey-Batı yönü etkisi altındadır. Saz deresi kollarının bulunduğu alan jeolojik açıdan ağırlıklı olarak düşük mineralizasyon (silisli) içerirken, Çayırova kollarının bulunduğu alan yüksek mineralizasyona (kalkerli ve alkalin) sahiptir [157].



Şekil 3.1 Saz-Çayırova havzası ve drenaj ağı

1986 tarihli düşük çözünürlüklü Landsat uydu görüntüsünden akarsu ağının Saz ve Çayırova kolları rahatlıkla ayırt edilebilmektedir. Ancak, 2023 tarihli daha yüksek çözünürlüklü Maxar görüntüsü, bölgenin yakın tarihte endüstri ve yerleşim merkezi haline dönüştüğünü göstermektedir. Özellikle Çayırova deresinin büyük kısmı yerleşim içinde kaldığından dere kollarının coğrafi analiz araçları kullanılmadan tespit edilmesi zorlaşmıştır. Saz deresinin kuzeyde kalan kolu ise hala su taşımaya devam etmektedir (Şekil 3.2).

Çeşitli kaynaklardan elde edilen bilgiler ışığında bölgenin insan etkisinin görülmediği yıllardan günümüze kadar olan değişimi kısaca şu şekilde özetlenebilir: Saz-Çayırova havzası 1960'lı yılların başlarında büyük oranda küçük ormanlık alanlarla kaplıydı. İnsan etkisinin görüldüğü ilk yıllarda havza, zeytin, arpa ve buğday yetiştirmek için bölgeye yerleşimcilerin tarım ve bahçecilik faaliyetlerinden etkilenmeye başladı (Şekil 3.2a). Zaman içinde ekonomik ve sosyal önceliklerin değişmesiyle birlikte bölgede küçük ve orta ölçekli sanayi tesisleri açıldı ve sonrasında konut alanları gelişmeye başladı. Bu süreçte Çayırova deresi kentsel ve endüstriyel açıdan büyük baskı altında kaldı. Su kalitesinde,



Şekil 3.2 Saz-Çayırova havzasını kapsayan bölge; (a) 1986 yılı ve (b) 2023 yılı

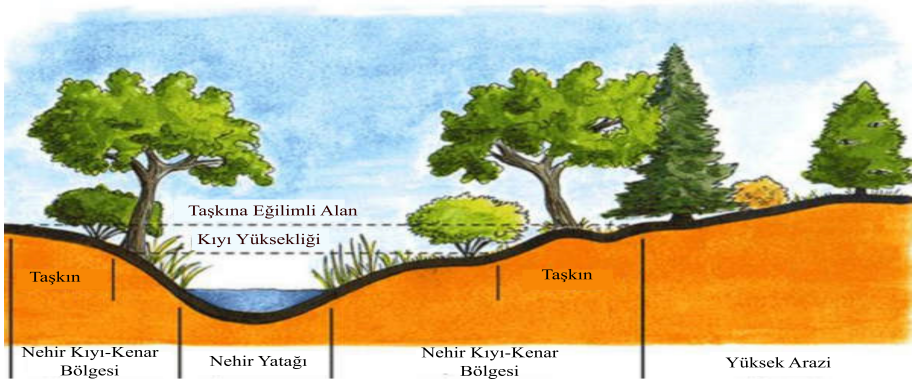
hidrolojik koşullarda ve Çayırova deresi kolların jeomorfolojik özelliklerinde önemli değişikliklere yol açtı. Derenin kollarından bazıları yerel yönetimler tarafından belirli dönemlerde ıslah edildi ve yeraltına alınmış olmasına karşın farklı üretim süreçlerine sahip endüstri tesislerin atık sularını taşımaya devam etti. Günümüzde derenin kolları boyunca doğal örtü büyük oranda yok olduğundan rehabilitasyon ve restorasyon için mühendislik çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Saz deresi de benzer baskılarla karşı karşıya olmasına rağmen doğal yapının korunduğu bazı kollar hala varlığını sürdürdü (Şekil 3.2b).

Saz deresinin membaları Organize Sanayi Bölgeleri'nden kaynaklanan noktasal deşarjların baskısı altındadır. Derenin mansap taraflarında ise küçük/büyük ölçekli fabrikalar arıtılmış atık sularını dereye deşarj etmektedir. Diğer taraftan havzanın kentsel veya kırsal alanlarından gelen kirletici yüklerin ise ayrı bir dere yatağında toplandığı ve Saz deresine deşarj edilmediği belirlenmiştir [158]. İki derenin birleştiği kısımların yakınlarında Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (İSU) tarafından çeşitli ıslah çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca, birleşen derelerin Marmara Denizi'ne boşaldığı bölgede bulunan Devlet Su İşleri (DSİ) istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyon günümüzde kapalı olmasına karşın 1982 - 1986 yılları arasına ait debi ölçüm verileri mevcuttur.

Çalışma bölgesinde tez konusu ile doğrudan ilgili olmamakla birlikte eski tarihlerde su kalitesi analizleri ve arazi yapısı ile ilgili çeşitli akademik çalışmalar yapılmıştır. Hız [159] havzadaki sanayi kuruluşlarının atık sularının dereye bırakılmasıyla ortaya çıkan kirliliği ele alan çalışmasında, derede belirlenen 15 noktadan alınan numuneler üzerinde ağır metal analizi yapmış ve tehlikeli boyutta bir ağır metal kirliliği tespit etmiştir. Kanburoğlu [160] Çayırova deresinde 1998 yılında tespit edilen bakır, demir ve kadmiyum ağır metal konsantrasyonlarının Vicia faba L. (bakla) kromozomları üzerine etkilerini incelemiştir. Atasayan vd. [155] 2003 - 2013 yılları arasındaki dönemde insan müdahalesi sonucu doğal bitki örtüsündeki değişimi uydu görüntüleri üzerinden tespit etmiştir. Yakın tarihlerde ise Oruç [161] Saz-Çayırova deresi üzerinde laboratuvar ve arazi çalışmaları ile oluşturulan toprak veri tabanı ve uluslararası Gıda ve Tarım Örgütü'ne ait toprak veri tabanları kullanılarak Toprak ve Su Değerlendirme Aracı modelinin akış tahmin performansı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Vural Yurtsever [162] Saz deresindeki su kalitesi parametrelerinin hidromorfolojik değişime olan etkilerini ÇKKV yöntemi ile belirlemeye çalışmıştır.

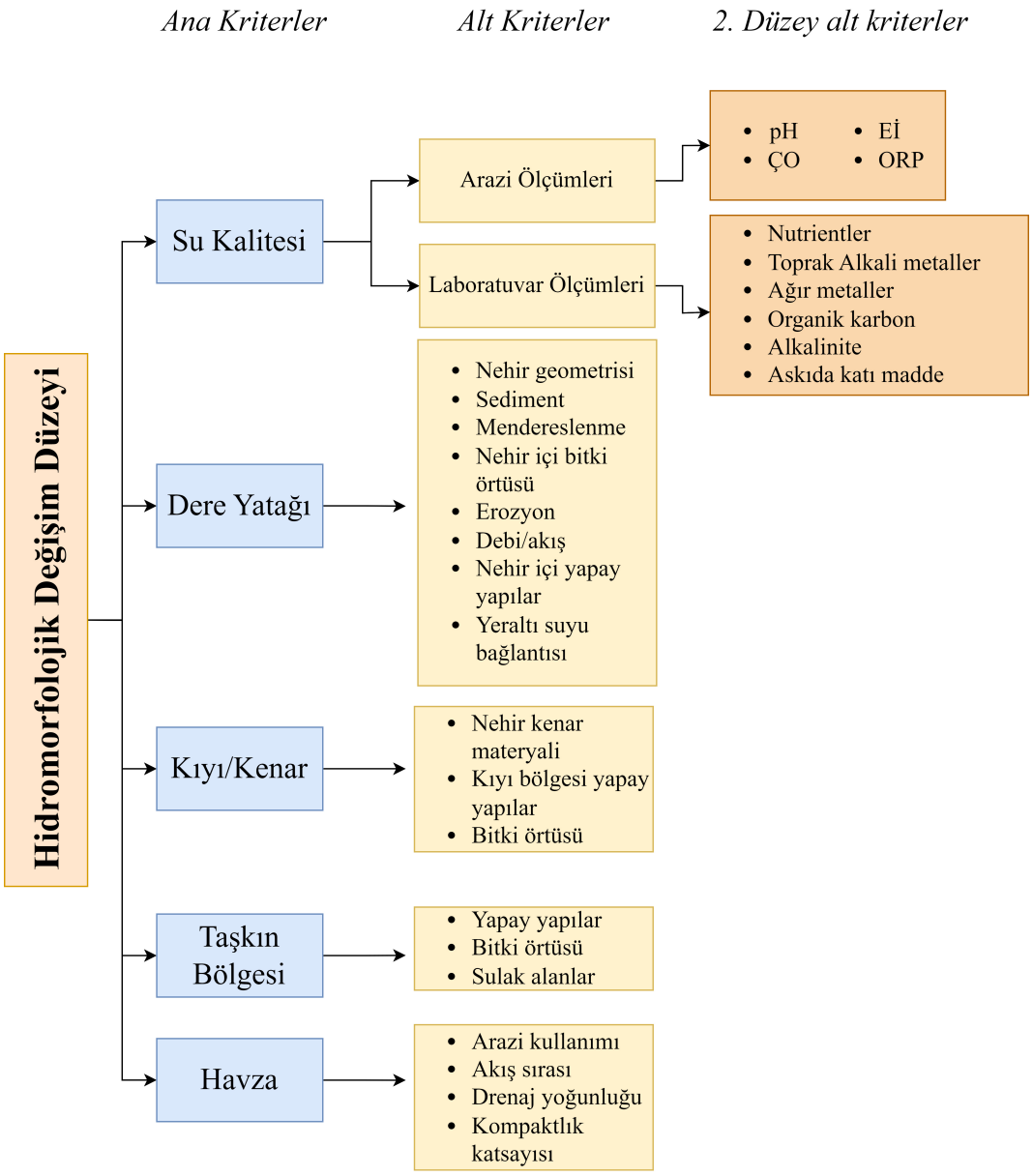
3.2 Hidromorfolojik Değişim Kriterleri

Bir nehrin hidromorfolojisi, fiziksel özellikleri ve akarsu morfolojisi, nehir kıyısı ve taşkın yatağı özellikleri dahil olmak üzere akarsu içi ve çevresindeki habitatları şekillendiren dinamik süreçlerle tanımlanır (Şekil 3.3). Nehirlerin hidromorfolojik durumunu değerlendirmek adına, değerlendirme kriterleri öncelikle CEN [163] standartlarına göre belirlenmelidir. Avrupa'daki yetkili makamlar, SÇD uyarınca yüzey suyu kütlelerinin fizikokimyasal ve hidromorfolojik özelliklerini izlemekle yükümlüdür [22].



Şekil 3.3 Nehir hidromorfolojisinin değerlendirilmesinde nehir koridorları (Mondal ve Patel [164] çalışmasından revize edilmiştir.)

Bu tez çalışmasında hidromorfolojik değişimlerin analizi 28 farklı kriter göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Bunlar için referans koşullar saha çalışmaları, laboratuvar analizleri, CBS ve UA verileri üzerinden belirlenmiştir. Saz-Çayırova dereleri boyunca değişime neden olan kriterlere ilişkin incelemeler beş ana grup altında yapılmıştır. Bu gruplar ve alt kriterler Şekil 3.4'te görülmektedir.



Şekil 3.4 Hidromorfolojik değişim düzeyine ilişkin hiyerarşik sınıflar

Ana gruptaki kriterlerden ilki arazide yapılan ölçümlere dayanan su kalitesi ölçütüdür. Bu ölçüt, dereden alınan numune örnekleri üzerinden gerçekleştirilen ölçümlere dayanır. Bu grupta yer alan, pH, çözünmüş oksijen (ÇO), elektriksel iletkenlik (Eİ) ve oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP), arazi çalışmaları sırasında yerinde ölçüm cihazları kullanılarak tespit edilmektedir. Nutrientler, toprak alkali metaller, ağır metaller, organik karbon, alkalinite ve askıda katı madde

(AKM) gibi kriterler ise alınan numunelerin laboratuvar ortamında incelenmesiyle belirlenmektedir. Bu nedenle su kalitesi kriterleri iki alt sınıfta (arazi ve laboratuvar ölçümleri) ele alınmıştır.

İkinci ana grupta dere yatağını değiştiren kriterler mevcuttur. Nehir geometrisi, sediment, mendereslenme, nehir içi bitki örtüsü, organik atıklar, erozyon ve biriktirme karakteri, debi/akış, nehir içi yapay yapılar ve yeraltı suyu bağlantısı olarak adlandırılan kriterler bu gruptadır. Bu kriterlerdeki değişimlere ilişkin kararlar, mekânsal veri kaynaklarından, hidrolojik modeller üzerinden ve uzman görüşleri alınarak verilmiştir.

Üçüncü ana grupta, nehir kıyı/kenar değişimlerine neden olan alt kriterler bir araya getirilmiştir. Nehir kenar materyalleri, kıyı bölgesi yapay yapılar ve kıyı bölgesi bitki örtüsü parametreleri incelenmiştir. Taşkın bölgesindeki değişimler dördüncü ana grubu oluşturmuştur. Bu sınıfta, taşkın bölgesindeki yapay yapılar, bitki örtüsü ve sulak alan değişiklikleri değerlendirilmiştir. Üçüncü ve dördüncü ana gruba ait kriterlere ilişkin değişim düzeyi kararları mekânsal veri kaynaklarından elde edilen veriler ve uzman görüşleri dikkate alınarak belirlenmiştir.

Havza bölgesinde değişime neden olan kriterler beşinci ana grubu oluşturmuştur. Arazi kullanım değişiklikleri, havzadaki drenaj ağının akış sırası, drenaj yoğunluğu ve havzanın sınırlarındaki değişimi gösteren kompaktlık katsayısı parametrelerindeki değişimler bu grupta incelenmiştir. Bunların değişimine ilişkin kararlar mekânsal veri kaynaklarından çıkarılmıştır.

3.3 Veri Toplama ve İşleme

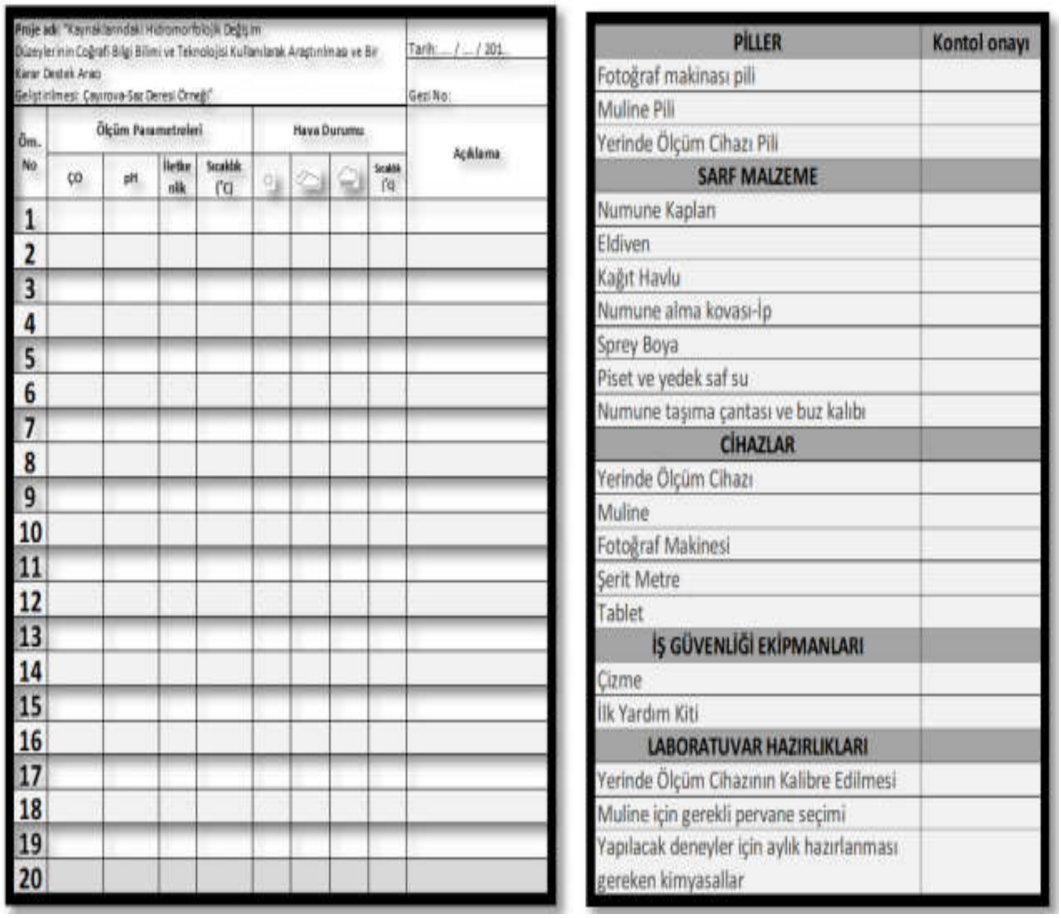
Bölgenin insan faktörü nedeniyle değişime uğramadan önceki referans durumunu saptamak ve güncel durumu ortaya koymak için toplanması gereken veriler Tablo 3.1'de verilmektedir. Su kalitesine ait analizler dışında birçok kriter için topografik haritalar ana veri kaynağı olarak kullanılmıştır. Nehir havzasının fiziki yapısının ve değişimlerinin izlenmesindeki önemini vurgular [165]. Elde edilmesi zor olan bazı arşiv verilerin elde edilmesinde hidrolojik model analizlerinden faydalanılmıştır. Veri elde edilmesi mümkün olmayan kriterler için ise uzman görüşlerinden yararlanılmıştır.

Tablo 3.1 Hidromorfolojik değişim kriterlerine ait bilgiler

Kriterler	**Veri toplama yöntemi**	**Veri kaynağı**	**Zaman**
Su kalitesi analizleri	Arazi ve laboratuvar çalışmaları	Toplanan numune örnekleri	2020-2021
Nehir geometrisi	Sayısal arazi modeli	Topografik harita, ortofoto	Arşiv ve güncel veriler
Sediment	Hidrolojik model	Topografik harita, toprak ve meteorolojik veri setleri, noktasal deşarjlar	Arşiv ve güncel veriler
Mendereslenme	Uzman görüşleri	Arşiv veriler	Arşiv ve güncel veriler
Nehir içi bitki örtüsü	Uzman görüşleri	Gözlemler	Güncel
Erozyon/Biriktirme karakteri	Hidrolojik model	Topografik harita, toprak ve meteorolojik veri setleri, noktasal deşarjlar	Arşiv ve güncel veriler
Debi/akış	Hidrolojik model	Topografik harita, toprak ve meteorolojik veri setleri, noktasal deşarjlar	Arşiv ve güncel veriler
Nehir içi yapay yapılar	Uzman görüşleri	Gözlemler	Güncel
Yeraltı suyu bağlantısı	Uzman görüşleri	Gözlemler, İSU ıslah verileri	Güncel
Nehir kenar materyali	Uzman görüşleri	Gözlemler	Güncel
Kıyı bölgesi yapay yapılar	Sayısal arazi modeli	Topografik harita, ortofoto	Arşiv ve güncel veriler
Kıyı bölgesi bitki örtüsü	Sayısal arazi modeli	Topografik harita, ortofoto	Arşiv ve güncel veriler
Taşkın bölgesi yapay yapılar	Sayısal arazi modeli	Topografik harita, ortofoto	Arşiv ve güncel veriler
Taşkın bölgesi bitki örtüsü	Sayısal arazi modeli	Topografik harita, ortofoto	Arşiv ve güncel veriler
Sulak alanlar	Uzman görüşleri	Gözlemler, arşiv veriler	Arşiv ve güncel veriler
Arazi kullanımı	Sayısal arazi modeli	Topografik harita, Çevresel Bilgi Koordinasyonu (CORINE) veri tabanı	Arşiv ve güncel veriler
Akış sırası	Sayısal arazi modeli	Topografik harita, ortofoto	Arşiv ve güncel veriler
Drenaj yoğunluğu	Sayısal arazi modeli	Topografik harita, ortofoto	Arşiv ve güncel veriler
Kompaktlık katsayısı	Sayısal arazi modeli	Topografik harita, ortofoto	Arşiv ve güncel veriler

3.4 Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları

Hidromorfolojik değişimlerin dinamiklerini anlamak için Saz-Çayırova havzasında Haziran 2020'den başlayıp Temmuz 2021'de biten yaklaşık 14 aylık kapsamlı bir veri toplama çalışması yürütülmüştür. Bu süre boyunca havzadaki veri toplama noktaları günlük ve aylık olarak düzenli bir şekilde ziyaret edilmiş ve çeşitli aralıklarla gözlem noktalarına çok sayıda tekrarlı ziyaret gerçekleştirilmiştir. Çayırova deresi kolları yüksek yerleşim ve endüstriyel faaliyet baskısı nedeniyle önemli ölçüde antropojenik bozulmaya maruz kaldığından, öncelikli olarak Saz deresi kollarına odaklanılmıştır. Çayırova deresi kollarındaki su kaynakları geri döndürülemez bir şekilde tükendiğinden, arazide gözlem ve veri toplamak için uygun yer bulunamamıştır. Her bir arazi çalışması öncesinde ve ölçümler sırasında iki örnek form kullanılmıştır (Şekil 3.5). Formlarda arazi çalışması için kullanılacak ölçüm parametreleri ve ekipmanları içeren iki farklı liste bulunmaktadır. Çalışma sırasında gereken tüm ölçümlerin doğru bir şekilde yapılabilmesi ve gerekli tüm ekipmanların eksiksiz olarak sağlanmasına yardım eder.



Proje adı: "Kaynaklarındaki Hidromorfolojik Değişim Düzeylerinin Coğrafi Bilgi Bilimi ve Teknolojisi Kullanılarak Araştırılması ve Bir Karar Destek Aracı Geliştirilmesi: Çayırova-Saz Deresi Örneği" — Tarih: ... / ... / 201.. — Gezi No:

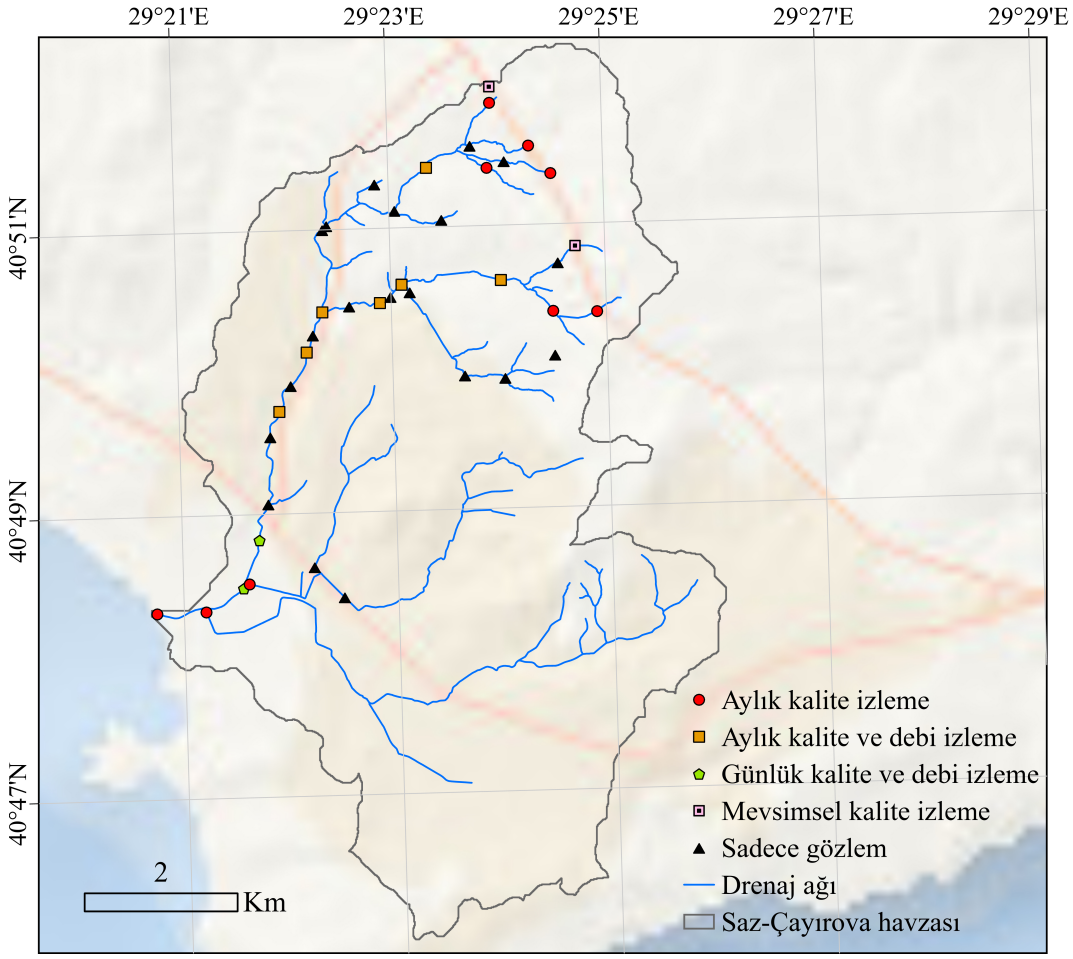
Örn. No	Ölçüm Parametreleri				Hava Durumu				Açıklama
	ÇO	pH	İletkenlik	Sıcaklık (°C)				Sıcaklık (°C)	
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									

PİLLER	Kontol onayı
Fotoğraf makinası pili	
Muline Pili	
Yerinde Ölçüm Cihazı Pili	
SARF MALZEME	
Numune Kapları	
Eldiven	
Kağıt Havlu	
Numune alma kovası-İp	
Sprey Boya	
Piset ve yedek saf su	
Numune taşıma çantası ve buz kalıbı	
CİHAZLAR	
Yerinde Ölçüm Cihazı	
Muline	
Fotoğraf Makinesi	
Şerit Metre	
Tablet	
İŞ GÜVENLİĞİ EKİPMANLARI	
Çizme	
İlk Yardım Kiti	
LABORATUVAR HAZIRLIKLARI	
Yerinde Ölçüm Cihazının Kalibre Edilmesi	
Muline için gerekli pervane seçimi	
Yapılacak deneyler için aylık hazırlanması gereken kimyasallar	

Şekil 3.5 Arazi çalışmalarında kullanılan formlar

Saz-Çayırova dere kollarında 41 noktada 14 ay süresince çeşitli aralıklarla gözlemler yapılmıştır (Şekil 3.6). Bunlardan üçü günlük olarak arazi su kalitesi

parametrelerinin toplandığı noktalar Şekil 3.6'de yeşil renk ile gösterilmiştir. Kırmızı ve turuncu renk ile gösterilen laboratuvar su kalitesi parametreleri aylık olarak 18 noktada toplanmıştır. Alınan numuneler üzerinden zamansal olarak su kalitesine ilişkin parametrik değişimler analiz edilerek incelenmiştir. Su kalitesine yönelik analizler bu tez çalışmasının kapsamı dışında tutulmuştur. Su kalite analizlerinin detaylarına Vural Yurtsever (2022) tarafından hazırlanan tez çalışmasından ulaşılabilir. Şekil 3.6'te yer alan pembe renkli noktalarda su kalitesinde önemli bir değişim olması beklenmediğinden mevsimsel izlemeler gerçekleştirilmiştir. Tüm noktalarda yapılan gözlemler sayesinde Saz-Çayırova havzasının hidromorfolojisini etkileyen unsurlar ve bunların yapısal değişiklikleri tespit edilmiştir.

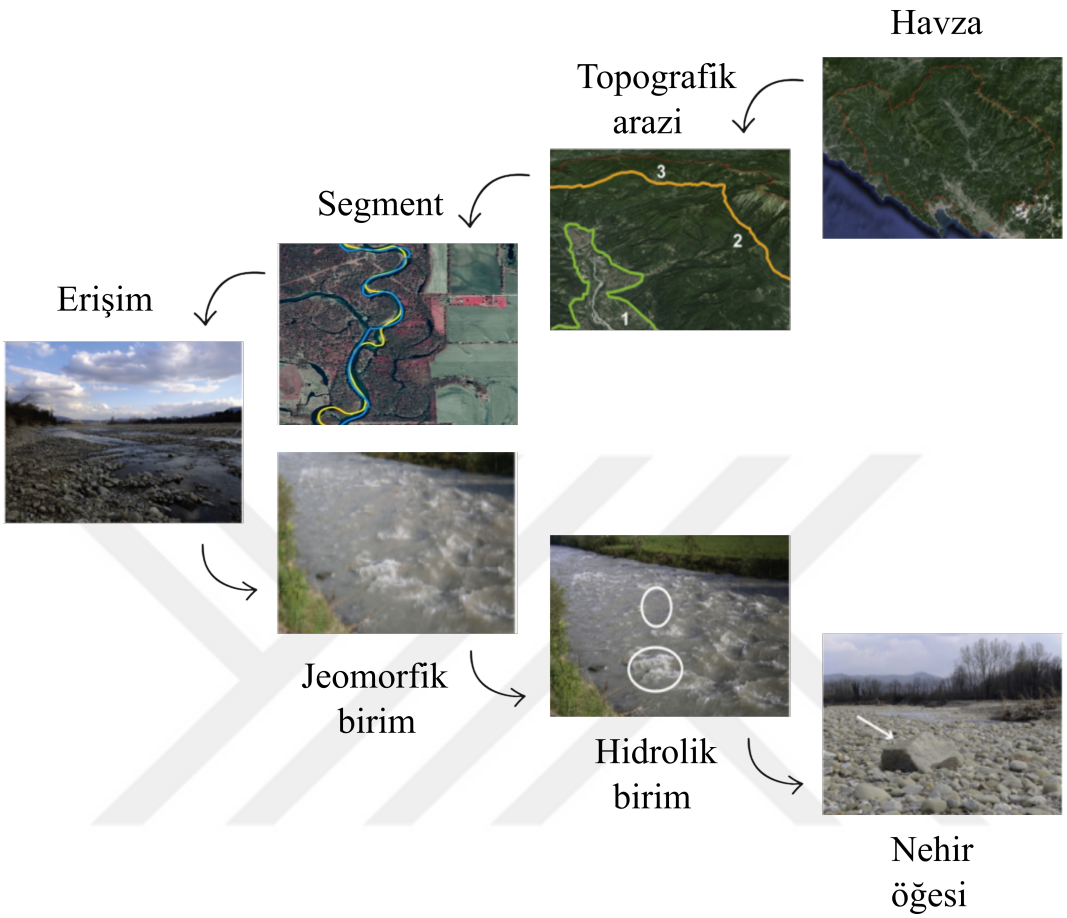


Şekil 3.6 Saz-Çayırova havzası gözlem noktaları

3.5 Erişim Kollarının Belirlenmesi

Hidromorfolojik çalışmalarının birçoğunda erişim boyunca değişimler incelenmekte ve değişim düzeyleri tespit edilmektedir. Nehirlerin karmaşıklığını karakterize etmek için hidromorfolojik izleme yapılacak nehir ağının izleme

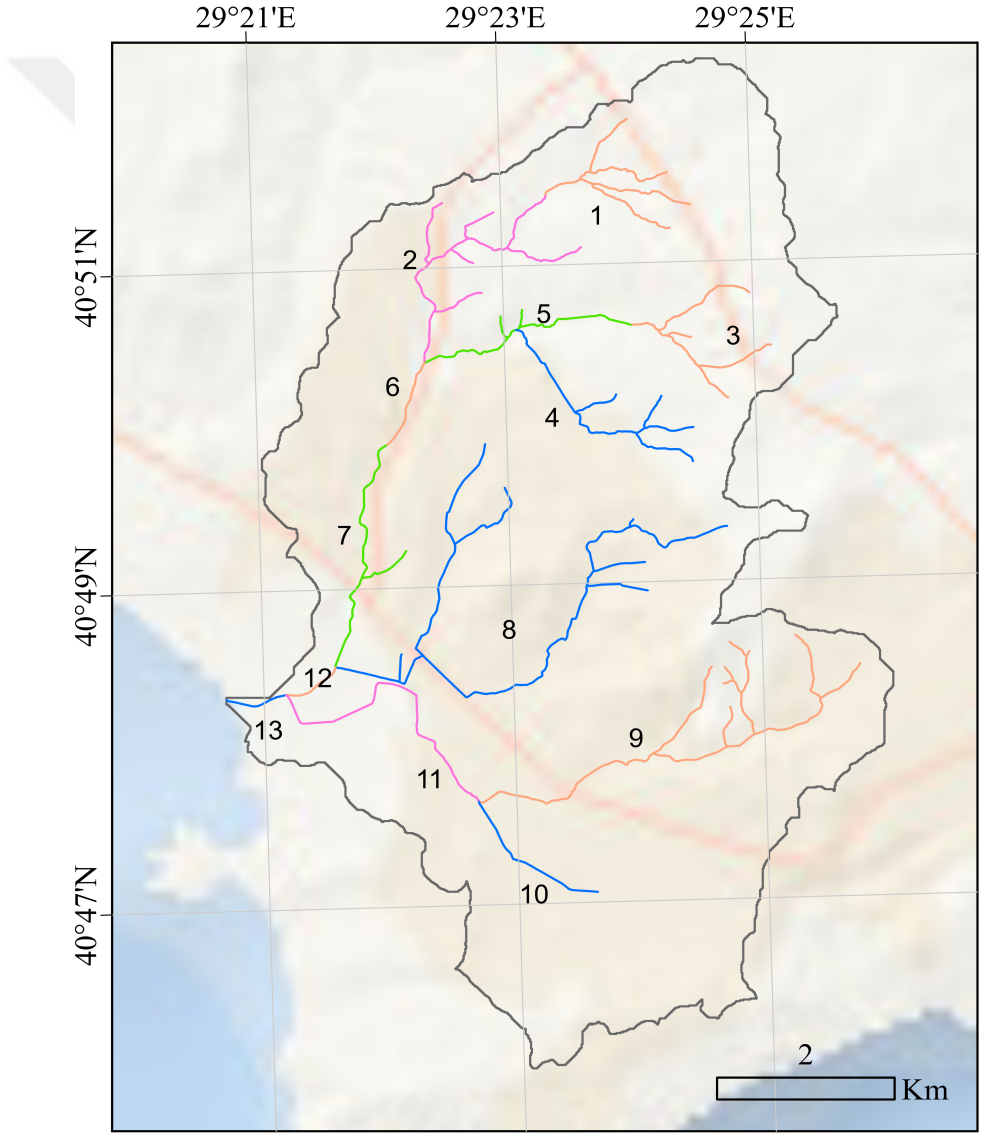
duyarlılığına karar vermek gerekir. Havzadan en küçük nehir öğesine kadar uzanan çözünürlüklerde izleme yapılabilir [22, 166]. Bir nehir sistemi hiyerarşik çerçevede yedi farklı çözünürlükte temsil edilir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Hidromorfolojik çalışmalar için çok ölçekli hiyerarşik yaklaşım (Mosselman vd. [166] çalışmasından revize edilmiştir.)

Havza, dağlar veya sıra dağlarla çevrili belli bir çevrenin sularının toplandığı tekne şeklindeki büyük düz çukurları kapsar. Topografik arazi, fiziksel arazi biçimlerini gösteren havzanın yüksekliği, dikliği ve vadi yoğunluğu gibi özellikleri içerir. Segment, nehir sisteminin yeterince düzgün eğimli ve geniş bir vadi içinde yer alan alt bölümüdür. Erişim, nehir sistemlerini diğerlerinden ayıran fiziksel, hidrolojik ve kimyasal detaylar ile tanımlanan segmentin bir alt bölümüdür. Bir erişim birimi, karaya kadar uzanan bir nehir veya dere kolu olabilir. Vadi şekli, eğim, kuşbakışı görünüm ve arazi kullanımı gibi faktörler erişim sınırlarını belirler. Bir segment bir veya birkaç erişim birimini içerebilir [84]. Jeomorfik birim, erozyon veya sediment birikimi ile oluşan, bazen bitki örtüsü ile ilişkili, bir yeryüzü şeklini içeren erişimin bir kısmıdır. Bu birimler dere yatağı içerisinde, kıyı alanlarında veya taşkın yatağı alanları üzerinde yer alabilir. Hidrolik birim, homojen bir yüzey akışı ve nehrin alt tabaka karakterine sahip belirgin bir arazi parçasıdır. Nehir öğeleri ise tortu parçacıkları, bitkiler ve odun parçalarını içeren hiyerarşinin son alt bölümüdür.

Saz-Çayırova havzasının dere kolları, British Standards Institution [148]'ın EN 14614 standart belgesinde belirtilen kılavuz ilkeler doğrultusunda, topografik haritalar, ortofotolar ve saha araştırmaları ışığında, dere ve taşkın yatağı bilgileri de yorumlanarak erişim kollarına ayrılmıştır (Şekil 3.8). Saz deresi kollarında bulunan 1-7 arasındaki erişim sınırlarını belirlemede noktasal deşarjlar dikkate alınmıştır. Çayırova deresi kollarında yer alan 8-11 arasındaki erişim sınırları bölgenin arazi kullanımındaki ve akış sıralarındaki değişime göre belirlenmiştir. Kentleşme ve endüstrileşme nedeniyle bu kolların tamamı yeraltına alınmıştır. 12 ve 13 numaralı erişimler ise iki derenin iki kez birleşimi ile oluşan sınırlardır. Burada Çayırova deresinden gelen endüstriyel kirlilik göz önünde bulundurulmuş ve sınırlar iki ayrı erişim olarak incelenmiştir.



Şekil 3.8 Saz-Çayırova havzasının erişim kolları

3.6 Referans Koşullar

Bir akarsuyun tahrip olmamış durumu referans düzey olarak adlandırılmaktadır. Referans koşulları yaklaşımı, tatlı su ekosistemlerinin değerlendirilmesi için kullanılan yaygın bir metodolojidir [167]. Bununla birlikte, hidromorfolojik özellikler için referans durumu belirlemek kolay bir işlem değildir. Özellikle akarsuların jeomorfolojik referans koşullarının tanımlanması üzerine yaklaşık otuz yıldır çok sayıda çalışma yapılmıştır [168–173]. Bunlar, konu hakkında hâlâ devam eden tartışmalar olduğunu ve referans koşullara dair ortak bir vizyonun eksik olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan, zaman içinde referans koşuldan olan sapmaları değerlendirmek ve akarsuların restorasyonu için yapılması gerekenleri ortaya koymak adına hidromorfolojik izleme çalışmalarının sürdürülmesi gerekir. İzleme çalışmaları öncesinde referans koşulların belirlenmesi için kullanılan genel yaklaşımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Referans koşullar çalışma bölgesinden toplanan verilere dayalı olarak tahmin edilebilir.
- Referans koşullar eski tarihli verilere (örn. arşiv topografik haritalar ya da ortofotolar) dayalı olarak saptanabilir.
- Referans koşullar eski ve yeni verilere dayalı olarak oluşturulan modeller üzerinden çıkarılabilir.
- Referans koşullar teorik bilgilere dayandırılabilir.
- Çalışma bölgesini tanıyan uzman kişilerin tecrübeleri üzerinden referans koşullara karar verilebilir.
- Referans koşullar tarihsel değişimler ve evrimsel sıralamaya dayalı olarak kestirilebilir [26].

Bu tez çalışmasında Saz-Çayırova havzasının referans koşullarını ortaya koyabilmek için 1957, 1976, 1997 ve 2005 yıllarına ait topografik veri setleri incelenmiş ve referans koşulların 1957 yılı topografik harita verilerine göre belirlenmesinin uygun olacağı anlaşılmıştır [165]. Bu tarihteki topografik kaynaklar Saz-Çayırova deresi kollarında ve çevresinde yerleşimin henüz başlamadığını, doğal durumun büyük oranda korunduğunu göstermiştir. 1976 yılı verileri ise bölgenin güneyinde sanayi yapılarının kurulmaya ve doğal yapının bozulmaya başladığını göstermiştir.

Topografik veri kaynaklarından elde edilemeyen referans koşullar geçmişe yönelik olarak oluşturulan hidrolojik modeller üzerinden çıkarılmıştır. Bunlarla ilgili bilgiler hidrolojik model kurulumunun anlatıldığı Bölüm 3.8'de açıklanmıştır. Arşiv verilerin olmadığı durumlarda Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği [174] ve uzman görüşlerine dayalı teorik değerler referans koşulların belirlenmesinde kullanılmıştır.

3.7 Sayısal Arazi Modelleri

Hidromorfolojik değişime etki eden kriterlerin birçoğu çalışma bölgesinin sayısal arazi modeli (SAM) üzerinden yapılan analizlere dayanmaktadır. SAM, zeminin sürekli yüzeyini istatistiksel olarak temsil eden ve X, Y, Z koordinatlarını içeren noktaların bulunduğu bir koordinat alanı olarak tanımlanır. Arazinin dijital bir yansıması olarak kabul edilir. İlk olarak Miller ve Laflamme [175] tarafından tanıtılan bu kavram, zamanla çeşitlilik göstermiştir. Almanya, İngiltere ve ABD gibi ülkeler alternatif model olan sayısal yükseklik modeli (SYM) tanımının farklı ifadelerini kullanmıştır. Kullanılan bu terimler genelde eş anlamlı olarak kabul edilebilir. SAM bu tanımlamaların dışında daha geniş bir kapsamda arazi yüzeyinin yanı sıra nehirler ve diğer topografik özellikleri de içerecek şekilde kullanılır. SAM terimi SYM'den daha geniş bir anlama sahip olma eğilimindedir. Nehirler, sırt çizgileri, kırılma çizgileri gibi belirli arazi özellikleri bu modele dahil edilir [176].

SYM gerçekte katı bir yüzeyin sayısal modeli anlamına gelir. Zemin kullanımının aksine, yükseklik ve kot terimleri bir nesnenin bir datumdan tepeye kadar olan ölçümünü vurgular. Arazi yüzeyinin yüksekliğine atıfta bulunmaları gerekmez. Ancak uygulamada SYM arazi yüzeyine indirgenmiş yükseklik noktaları olarak kullanılır [176].

Arazi yüzeyine indirgenmiş SYM çeşitli enterpolasyon yöntemleri kullanılarak türetilebilir. Bu yöntemler arasında 2. ve 3. derece polinomlarla enterpolasyon, kayan yüzey yardımıyla enterpolasyon, çoklu-kuadrik enterpolasyon, yüzey toplamlarıyla enterpolasyon, ağırlıklı aritmetik ortalama ile enterpolasyon, sürekli parça parça polinomlarla enterpolasyon, dörtgen grid üzerinde enterpolasyon ve üçgen ağ üzerinde enterpolasyon sayılabilir [177]. Jeomorfolojik ve hidrolojik analizler için günümüzde, SYM üretiminde öne çıkan yöntemlerden biri, Hutchinson [178] tarafından geliştirilen "ayrıklaştırılmış ince plaka spline tekniği" temelli enterpolasyon yöntemidir [179]. Bu yöntem, ek yükseklik ve hidrografik verilerinin modele dahil edilmesiyle yapay çukurları giderir ve SYM'lerin drenaj hatlarıyla uyumlu kot bilgilerini ayarlar. Bu teknikle üretilen SYM'ler "hidrolojik

olarak düzeltilmiş SYM" olarak tanımlanır. Bu yöntem kartografl tarafından kabul edilen "topografyanın iskelet çizgileri -drenaj ağları- eş yükseklikler maksimum eğriliğe sahip noktalarında yer almalıdır" şartını da karşılamaktadır [180].

SYM çözünürlüğü tek bir grid hücresi tarafından temsil edilen arazi alanını ifade eder. Weihau ve Montgomery [181] 6 m aralıklı yükseklik eğrilerine sahip 1:4800 ölçekli bir topografik altlık harita kullanarak ABD'nin batısında yer alan iki adet küçük ölçekli havzada jeomorfolojik ve hidrolojik süreçlerin simülasyonu için 2, 4, 10, 30 ve 90 m çözünürlüklü SYM'ler üzerinden analizler gerçekleştirmiştir. Kullanılan verinin hacmi ve çözünürlük arasındaki en uygun sonuç 10 m çözünürlüklü SYM üzerinden elde edilmiştir. Başka bir çalışmada Hengl [182], 10 m aralıklı yükseklik eğrilerinden türetilecek SYM için en uygun çözünürlüğün 12,0 – 53,5 m arasında olabileceği belirtmiştir. Çalışma ölçeğine bağlı olarak, en düşük, makul ve en yüksek çözünürlüğün hesabında kullanılabilecek üç bağıntı önermiştir. Eşitlik 3.1'de en düşük çözünürlük, Eşitlik 3.2'de en yüksek çözünürlük, Eşitlik 3.3'de ise makul çözünürlük bağıntıları verilmiştir.

$$\text{Çözünürlük}_{min} = \text{Ölçek sayısı} \times 0,0025 \tag{3.1}$$

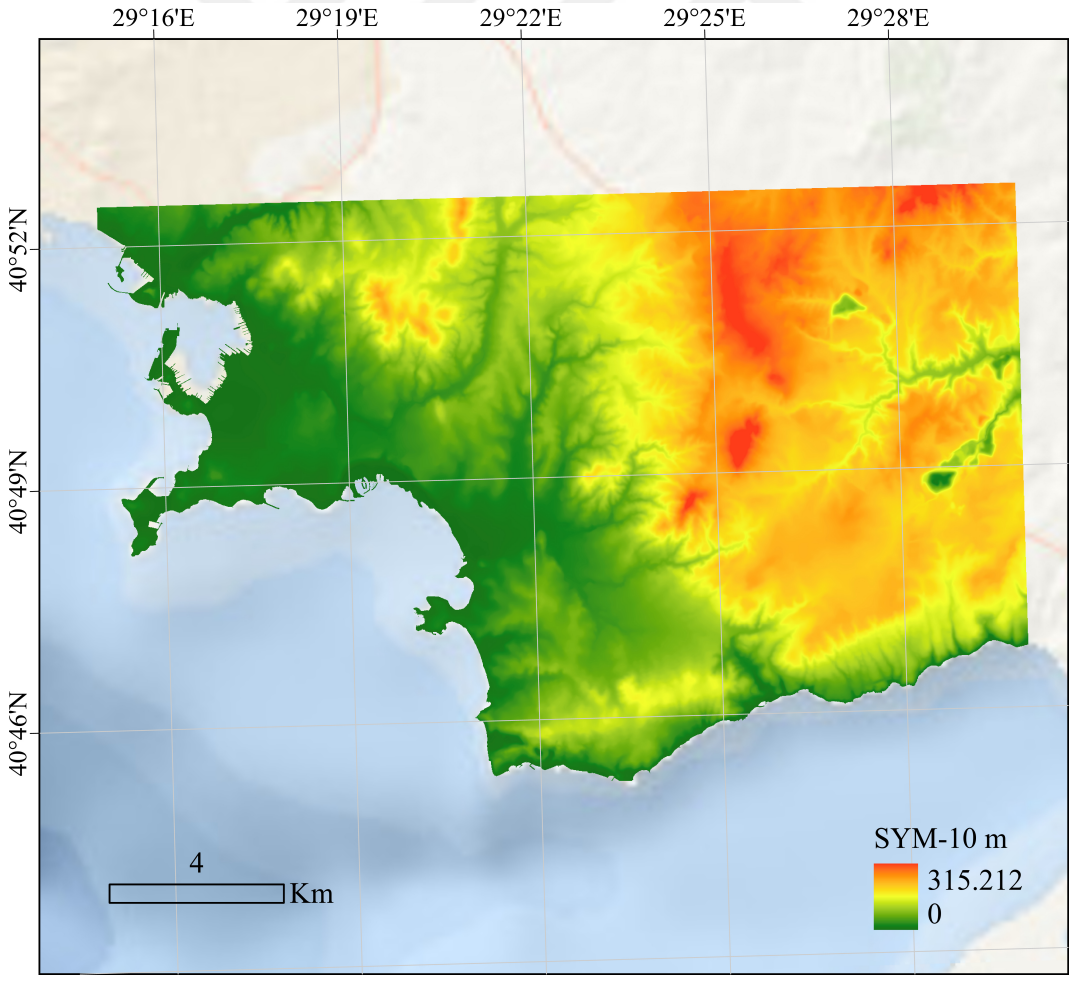
$$\text{Çözünürlük}_{mak} = \text{Ölçek sayısı} \times 0,0001 \tag{3.2}$$

$$\text{Çözünürlük}_{makul} = \text{Ölçek sayısı} \times 0,0005 \tag{3.3}$$

Eşitlik 3.1, 3.2 ve 3.3'e göre 1:25K ölçekli veri setinde çözünürlük değerleri en düşük, makul ve en yüksek sırasıyla 62,5, 12,5 ve 2,5 m'dir. Buna karşın grafik çözünürlük olarak bilinen ve haritalardaki en küçük okunabilir büyüklük olarak ifade edilen çözünürlük insan gözün ayırma gücüne bağlıdır. Kartografik açıdan gözün teorik olarak milimetrenin 1/5'i kadar bir büyüklüğü ayırabildiği genel bir kabuldür. Bu büyüklük 1:25K ölçekli bir haritada 5 m'ye karşılık gelmektedir. Erdoğan [183] tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise 2008 yılına kadar 1:25K ölçekli topografik haritaların üretiminde kullanılan 1:35K ölçekli hava fotoğraflarından 10 m aralıklı eş yükseklik eğrilerinin üretimi ve otomatik görüntü eşleme ile elde edilecek SYM'lerin en makul çözünürlüğünün 8-16 m arasında olması gerektiği ifade edilmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda çalışma kapsamında üretilecek SYM için çözünürlük değerinin 10 m olarak seçilmesine karar verilmiştir.

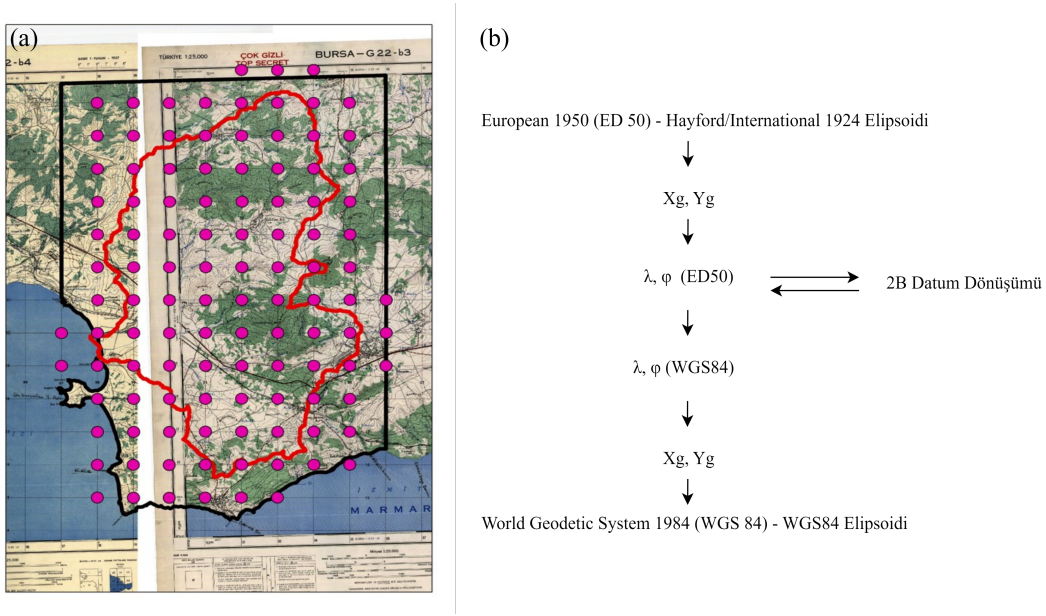
Saz-Çayırova havzası ve çevresine ait SYM üretimi için HGM'nin güncel 1:25K ölçekli sayısal topografik harita veri setleri kullanılmıştır. Çalışma alanı BURSA G22B3 ve G22B4 paftaları içinde yer almaktadır. Bunlar, WGS84

datumuna sahiptir ve Universal Transverse Mercator (UTM) 35 dilimli koordinat sisteminde üretilmiştir. Yükseklik bilgileri 10 metre eş yükseklik değerine sahip yükseklik eğrileri ile gösterilmiştir. Hidrografik detaylar ölçeğe bağlı olarak çizgi ve alan geometrisindedir. Bölgenin SYM'si yükseklik eğrileri ve hidrografik verilerden ArcGIS Pro yazılımının TopoToRaster aracı ile türetilmiştir (Şekil 3.9). TopotoRaster aracı, topografik haritalardan yükseklik ve hidrografik veriler kullanılarak hidrolojik olarak düzeltilmiş SYM'ler oluşturulması için tasarlanmış enterpolasyon yöntemini kullanır [178]. Enterpolasyon prosedürü, yaygın olarak mevcut olan girdi verilerinin türlerinden ve yükseklik yüzeylerinin bilinen özelliklerinden faydalanmak üzere tasarlanmıştır. Bu yöntem yinelemeli bir sonlu fark enterpolasyon tekniği kullanmaktadır. Kriging ve Spline gibi küresel enterpolasyon yöntemlerinin yüzey sürekliliğini kaybetmeyecek ve ters mesafe ağırlıklı (Inverse Distance Weighting - IDW) enterpolasyon gibi yerel enterpolasyon yöntemlerinin hesaplama verimliliğine sahip olacak şekilde optimize edilmiştir. Akarsular, sırtlar ve uçurumlar gibi arazideki ani değişiklikleri takip etmesine izin verecek şekilde değiştirildiği ayrıklaştırılmış bir ince plaka spline tekniğidir.

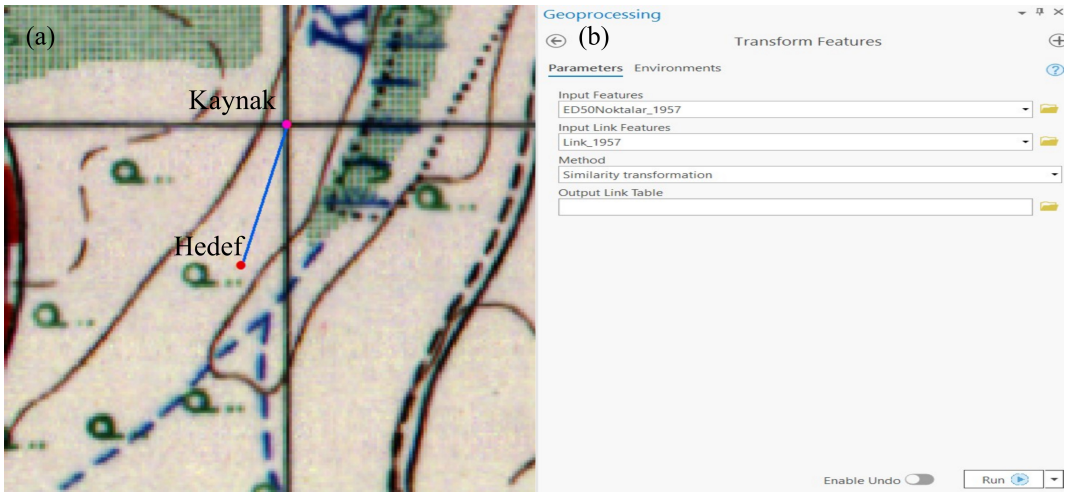


Şekil 3.9 Türetilen 10 m çözünürlüğe sahip SYM

Bölgenin 1957, 1976, 1997 ve 2005 tarihli arşiv verileri için ilgili SYM'ler yine TopoToRaster aracı kullanılarak türetilmiştir. Arşiv veriler veri tabanlarında muhafaza edilmediği için her bir yıla ait yükseklik ve hidrografya verileri manuel olarak sayısallaştırılmıştır. 2000 yılı öncesinde yapılan 1:25K ölçekli topografik haritalar European 1950 (ED50) datumunda üretildiği için WGS84 datumuna koordinat dönüşümü yapılmıştır. Dönüşüm için 2000 yılı öncesine ait raster haritalarda mevcut havza sınırını ve çevresini kapsayacak şekilde dönüşüm noktaları oluşturulmuştur. Her bir yıl için 110 dönüşüm noktası ilgili raster haritalarda yer alan grid noktaları üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 3.10a). Bu noktalardan elde edilen Sağa-Yukarı değerler coğrafi koordinatlara dönüştürülmüştür. Bunlardan 2B Helmert benzerlik dönüşümü ile WGS84 sistemindeki coğrafi koordinat değerleri hesaplanmıştır. Ölçek ve dönüklüğün aynı olduğu varsayımına dayanarak matematiksel modelde bilinmeyen sayısını düşürmek için Helmert benzerlik dönüşümü kullanılmıştır. Benzerlik dönüşümü, verileri ölçeklendirir, döndürür ve çevirir. Eksenleri bağımsız olarak ölçeklendirmez ve herhangi bir eğrilik oluşturmaz. Dönüştürülen detayların en boy oranı korunur ve bu durum detayların göreceli şekil yapısının muhafaza edilmesini sağlar. Benzerlik dönüşümünden elde edilen coğrafi koordinatlar için WGS84 datumunda ve UTM 35 diliminde, dönüşüm noktalarının güncel Sağa-Yukarı değerleri hesaplanmıştır (Şekil 3.10b). Son aşamada, dönüşüm noktaları kullanılarak sayısallaştırılan arşiv veriler, ArcGIS Pro yazılımının Transform Features aracı ile güncel koordinat sistemine aktarılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.10 (a) 1957 yılına ait örnek dönüşüm noktalarının gösterimi, (b) dönüşüm işlemlerine ait iş akışı



Şekil 3.11 Dönüştürme işleminin yapısı; (a) 1957 yılına ait örnek gösterim, (b) 1957 yılına ait arşiv verilerin dönüştürülmesi

Uygulanan koordinat dönüşümlerinin istatistik hata değerleri Tablo 3.2'de verilmiştir. Üç yıl için hesaplanan karesel ortalama hata değerleri 3 metrenin altındadır. Dönüşümde kullanılan noktaların maksimum hata miktarı türetilen SYM'lerin çözünürlük değeri olan 10 metreden düşük çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar, yapılan koordinat dönüşümünün kabul edilebilir olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.2 1957, 1976 ve 1997 yıllarına ait mekânsal veri dönüşüm hataları

Yıl	Hata değerleri (m)			
	Minimum	Maksimum	Ortalama	Karesel Ortalama Hata
1957	0,41	9,24	5,13	2,48
1976	0,26	7,57	2,09	1,22
1997	0,69	4,97	2,42	1,06

3.7.1 Havza Sınırlarının Türetilmesi

Saz-Çayırova havzası ve çevresinin her bir dönemine ait SYM'lerden aşağıda yer alan işlem adımları izlenerek drenaj ağları ve havza sınırları çıkarılmıştır [176, 184]:

- Yapay çukurlar doldurulmuştur.
- Akış doğrultuları tespit edilmiştir.
- Akış birikinti değerleri hesaplanmıştır.
- Drenaj noktaları tespit edilmiştir.
- Havza sınırı belirlenmiştir.

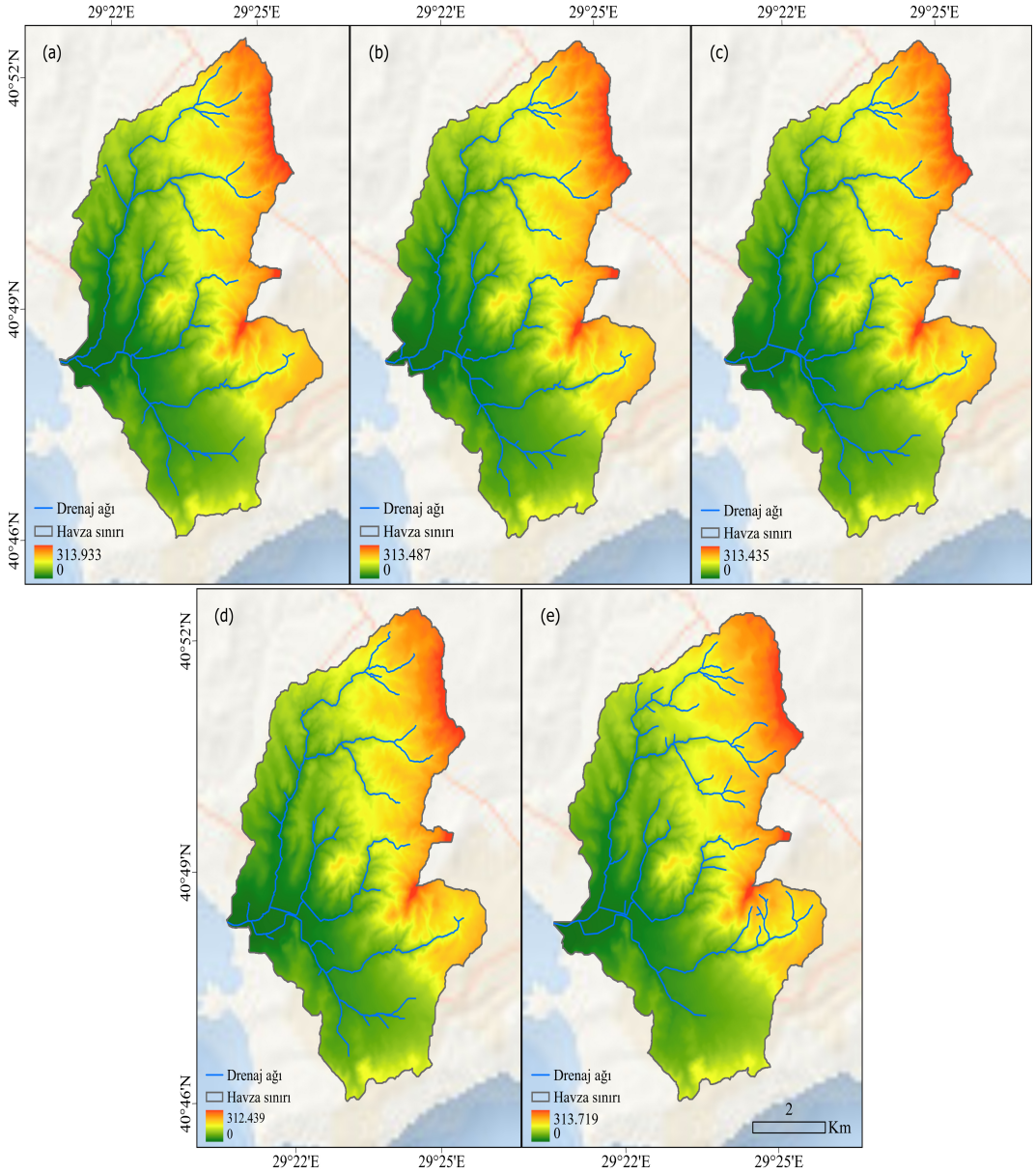
Yapay çukurlar veri toplama yöntemleri ve çözünürlük seviyelerine bağlı olarak oluşabilir. Bu çukurlar, SYM üzerinden türetilen drenaj ağlarında bütünlüğün bozulmasına ve dolayısıyla kesintisiz bir drenaj ağı oluşturulamamasına yol açar. Aynı etkenler, drenaj ağının yatay konumunda hatalara neden olabilir. Bunlar modelin genel doğruluğunun ve kullanılabilirliğinin yanında drenaj ağının topolojik doğruluğunu ve hidrolojik modeller üzerinden yapılacak simulasyonların doğruluğunu da olumsuz yönde etkiler. O'Callaghan ve Mark [185] ile Mark [186] bu sorunların oluşmaması için SYM'lerde ortaya çıkan yapay çukurların yumuşatma işlemi yoluyla giderilmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Yapay çukurların doldurulması için bu tez çalışmasında bu araştırmacılar tarafından önerilen yaklaşımlardan yararlanılmıştır.

Akış doğrultularının tespiti için en yaygın kullanılan yöntemlerden biri, kısaca D8 olarak bilinen "belirleyici sekiz nokta" yaklaşımıdır [185, 186]. Bu yöntem, her bir hücrenin akışını çevresindeki sekiz komşu hücreden birine yönlendirerek belirler. Çukurlar ve düzlükler gibi topografik özelliklere duyarlı olması, basit ve etkili bir hesaplama tekniği sunması nedeniyle, D8 yaklaşımı günümüzde pek çok ticari yazılım tarafından tercih edilmektedir [187]. D8 metodunun yanı sıra, "çoklu akış doğrultusu", "$D\infty$ yöntemi" ve "rastgele dört/sekiz nokta" olarak bilinen diğer yaklaşımlar da mevcuttur [188]. Bu tez çalışmasında akış doğrultularının oluşturulması için klasik D8 yaklaşımı kullanılmıştır.

Akış birikinti değeri, genellikle her bir arazi hücresine akan toplam su miktarı olarak tanımlanır [189]. SYM hücreleri arasında akış birikinti değeri yüksek olanlar drenaj ağının bir parçası olma potansiyeli yüksek olan hücrelerdir. Drenaj ağını oluşturan SYM hücreleri için akış birikinti değerlerinin yüksekliği seçilen bir eşik değere göre belirlenir. Eşik değerden daha yüksek akış birikinti değerine sahip hücreler drenaj ağını oluşturur. Akış birikintileri için eşik değer üç yönteme göre belirlenir [180]. Yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri SYM hücreleri arasında en yüksek akış birikinti değerine sahip hücrenin birikinti değerinin %1'ini eşik değer olarak kabul eder. Bu kabul akış birikinti değeri hesaplamalarının yapılabildiği CBS araçlarının bir çoğu tarafından varsayılan olarak kullanılır. İkinci yaklaşım SYM hücrelerinin ortalama akış birikinti değerini eşik değer olarak kabul eder. Üçüncü yaklaşım topografik veri kaynaklarından elde edilen akarsu ağının kaynak noktalarına yakın hücrelerdeki akış birikinti değerlerinin aritmetik ortalamasını kullanmayı önerir. Bu tez çalışmasında türetilen drenaj ağları için eşik değer maksimum birikinti değerinin %1'i olarak kabul edilmiştir.

Drenaj noktalarının tespit edilmesi, havza sınırlarının üretilmesinden önceki son işlem adımıdır. ArcGIS Pro Drainage Point Processing aracı ile seçilen eşik

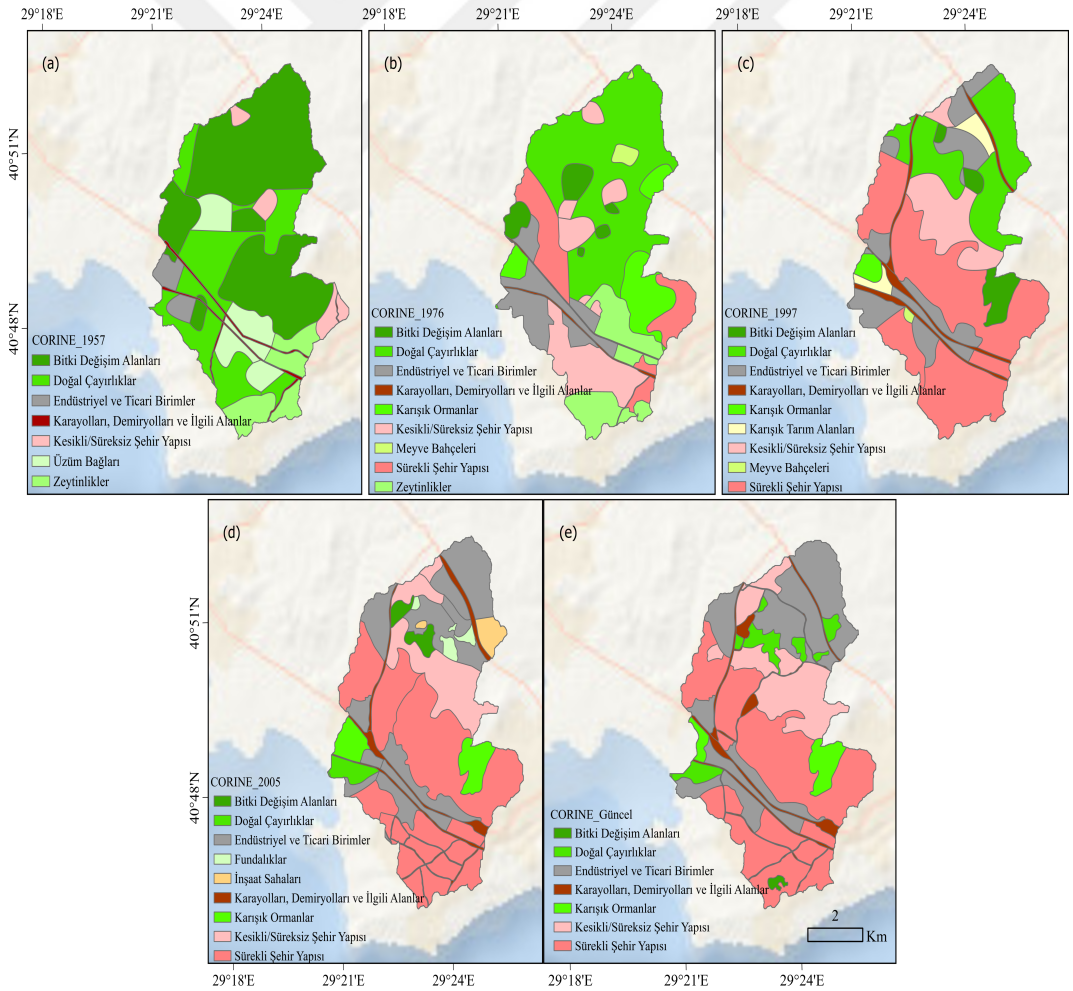
değerden yüksek akış birikinti değerine sahip hücreler ve ilgili SYM noktaları belirlenmiş, havzanın denize dökülen en yüksek birikinti değerine sahip hücresine kadar tüm noktaları birleştiren drenaj ağı türetilmiştir. Son aşamada drenaj ağını çevreleyen sırt noktaları birleştirilerek havza sınırları türetilmiştir. Drenaj ağı ve havza sınırı türetme stratejisi çalışmada kullanılan farklı yıllara ait tüm veri setlerine uygulanmıştır. SYM'lerden türetilen drenaj ağı ve havza sınırı verileri Şekil 3.12'de görünmektedir.



Şekil 3.12 Drenaj ağı, havza sınırı ve SYM; (a) 1957, (b) 1976, (c) 1997, (d) 2005, (e) güncel

3.7.2 Arazi Kullanımının Belirlenmesi

SAM'ın diğer önemli bileşeni arazi kullanım bilgileridir. Hidrolojik ve morfolojik süreçler üzerinde arazi kullanımının etkisi büyüktür [108]. Arazi kullanım bilgileri, derenin devamlılığı ve değişimi, dere kenarı ve civarındaki yapılar ve bitki türleri gibi bilgilerin toplanması oldukça önemlidir. Şekil 3.13, çalışma alanında beş farklı dönemi temsil eden arazi kullanım bilgilerini göstermektedir. Bu bilgiler, ilgili yıllara ait topografik haritalardan sayısallaştırma yapılarak SAM'a entegre edilmiştir. Sayısallaştırılan verilerin sınıf bilgileri Avrupa Çevre Ajansı (AÇA) tarafından geliştirilen çevresel bilginin koordinasyonu (CORINE) projesinden alınmıştır. CORINE, AÇA kriterlerine göre oluşturulan sınıflandırma birimlerine göre 44 farklı sınıf ve üç hiyerarşik seviyeden oluşmaktadır. Hiyerarşik seviyeler genelden özele doğru alt arazi kullanım sınıflarını içermektedir. 1. seviyede 5, ikinci seviyede 15 ve 3. seviyede 44 adet arazi kullanım sınıfı mevcuttur. Bu tez çalışmasında alt arazi kullanım türlerinin çeşitliliği nedeniyle 3. seviye sınıflar kullanılmıştır.



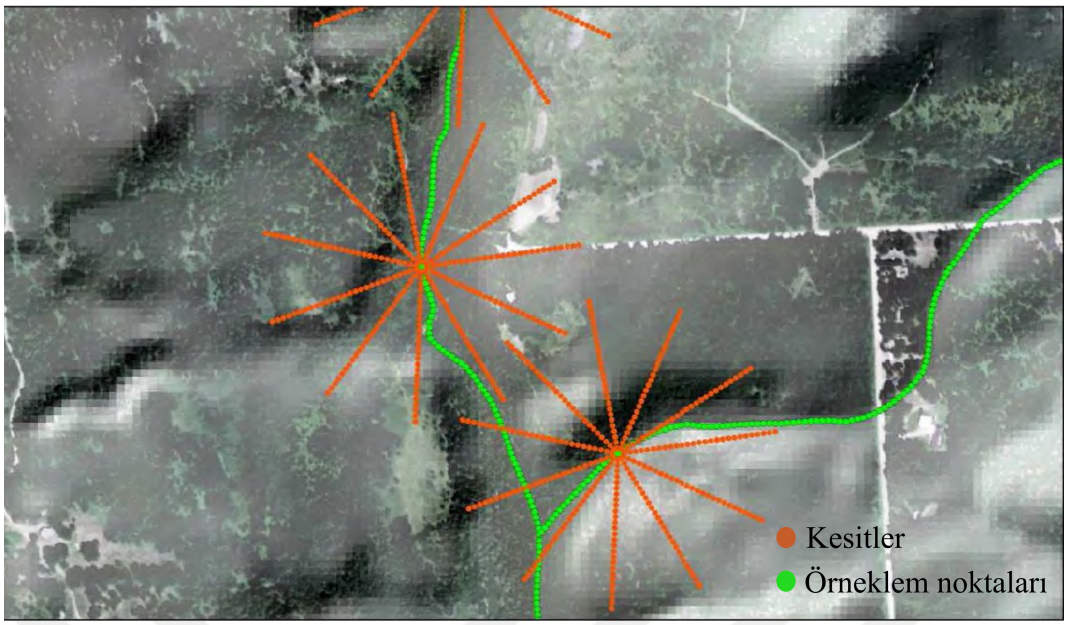
Şekil 3.13 Arazi kullanım haritaları; (a) 1957, (b) 1976, (c) 1997, (d) 2005 ve (e) güncel

3.7.3 Kıyı/Kenar ve Taşkın Sınırlarının Türetilmesi

Nehirlerin kıyı/kenar ve taşkın sınırları, hidromorfolojik değişim düzeylerini belirlemede etkili olan nehir koridor detaylarını içerir. Nehir kıyı/kenar sınırları, kara ile tatlı su ekosistemleri arasındaki geçiş bölgesidir. Bu sınırlar arasında kalan alan, özgün toprak, hidroloji ve biyotik koşullar barındırır. Bu bölgeler, tarımsal akışın azaltılması, besin döngüsünün desteklenmesi, taşkın kontrolü ve akarsu gölgelendirmesi gibi çeşitli ekolojik işlevleri yerine getirme potansiyeline sahiptir [190]. Nehir kıyı alanları, farklı jeomorfolojik, hidrolojik ve ekolojik süreçlerin merkezi konumundadır. Sel riskini azaltır, suyun mevcudiyetini ve kalitesini iyileştirir. Diğer taraftan, insani etkiler ve arazi kullanımındaki değişimler nehir kıyı bölgesine büyük baskı uygular. Nehir kıyı sınırları ve bu bölgelerdeki bitki örtüsü, taşkın yatağı uzantıları gibi temel özelliklerin güvenilir şekilde belirlenmesine yönelik çalışmalar, havza bazlı uygulamalar kadar yaygın değildir. Ilhardt vd. [191], hidrolojik kıyı sınırını, 50 yıllık hareketli taşkın yatağı ile ilişkilendirmiştir. Elde edilen bulgulara göre, 50 yıllık taşkın yüksekliğine dayalı olarak tanımlanan akarsu yatağı, benzer makro iklimi ve jeomorfolojiyi desteklemektedir. Mason ve Maclean [192], 50 yıllık taşkın yüksekliğine dayalı olarak belirlenen nehir kıyı bölgesini SYM üzerinden türetmeyi önermiştir. Bu tez çalışmasında Abood vd. [193] tarafından geliştirilen SYM'ye dayalı nehir kıyı/kenar tanımlama modeli kullanılmıştır.

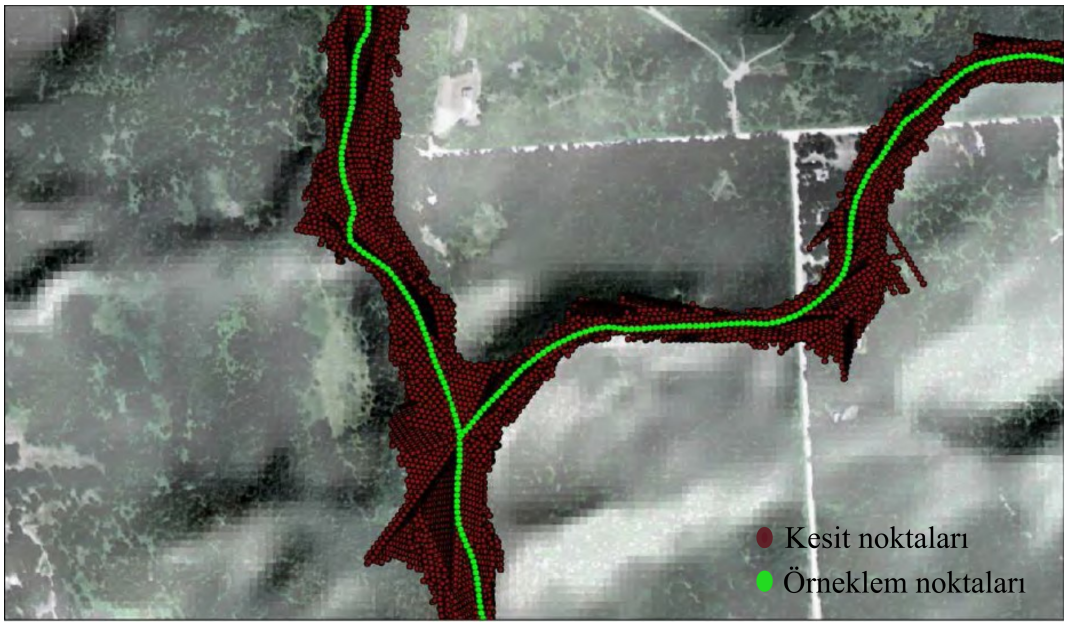
Modelin çalışma prensibi şu şekildedir:

- Model, girdi olarak kullanılan nehir ve göl detay sınıflarının düzenlenmesiyle başlar. Her nehir, genellikle birkaç dere segmentinden oluşur ve bu segmentler, erişim kodları (akış sırası) ile tanımlanır. Göl veya diğer açık su kütlelerinde tanımlanan dere segmentleri ise çıkarılarak, nehir kıyısı bölgesinin haritalanması sürecinde hatalı veri üretiminin önüne geçilir. Ilhardt vd. [191] tarafından yapılan çalışma temel alınarak, göller ve diğer açık su kütleleri etrafında 30,48 metre genişliğinde standart bir tampon bölge oluşturulmaktadır.
- İkinci adımda, algoritma her kesit noktasının başlangıç koordinatlarını (x, y) hesaplar. Bu hesaplama, SYM çözünürlüğü ve piksel boyutunun belirli bir yüzdesi olarak tanımlanan piksel oranı temel alınarak yapılır. Nehir segmenti boyunca, piksel çözünürlüğünün %75'i kadar mesafede örneklem noktaları belirlenir. Örneklem noktaları belirlendikten sonra, algoritma SYM'den yükseklik değerlerini çeker ve bunları ilgili öznitelik tablosuna yazar. Her bir örneklem noktası etrafında, nehir yönündeki ve yükseklikteki değişimleri yakalayacak şekilde 360 derece boyunca kesitler oluşturulur (Şekil 3.14).



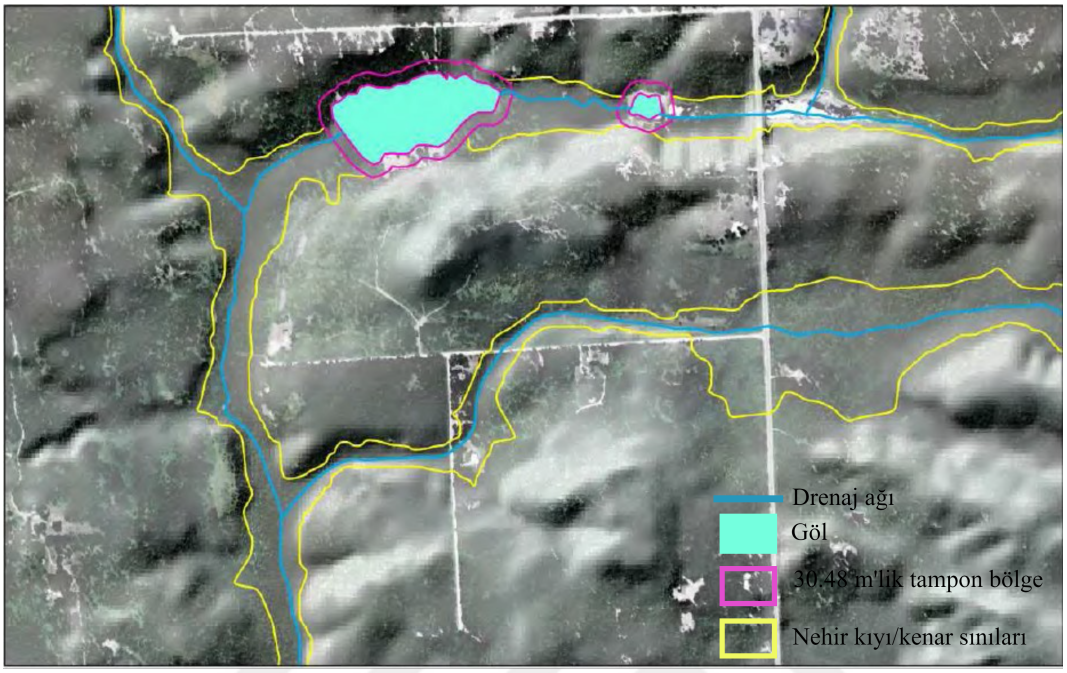
Şekil 3.14 Seçilen örneklem noktaların etrafında oluşturulan kesitler (Abood vd. [193] çalışmasından revize edilmiştir.)

- Sonrasında model kesit noktalarının, hesaplanan ortalama 50 yıllık taşkın yüksekliğinin üzerinde bir yükseklik farkı gösterip göstermediği değerlendirilir. Eğer bir metre veya daha fazla bir yükseklik farkı varsa, bu noktalar nehir kıyısı bölgesi dışında olarak kabul edilir ve silinir. İşlem süresini optimize etmek amacıyla, yinelenen noktalar nehir kıyısı kenarında kaldırılır. Temizlenmiş kesit noktaları, girdi SYM ile aynı mekânsal çözünürlüğe sahip raster verilere dönüştürülür (Şekil 3.15).



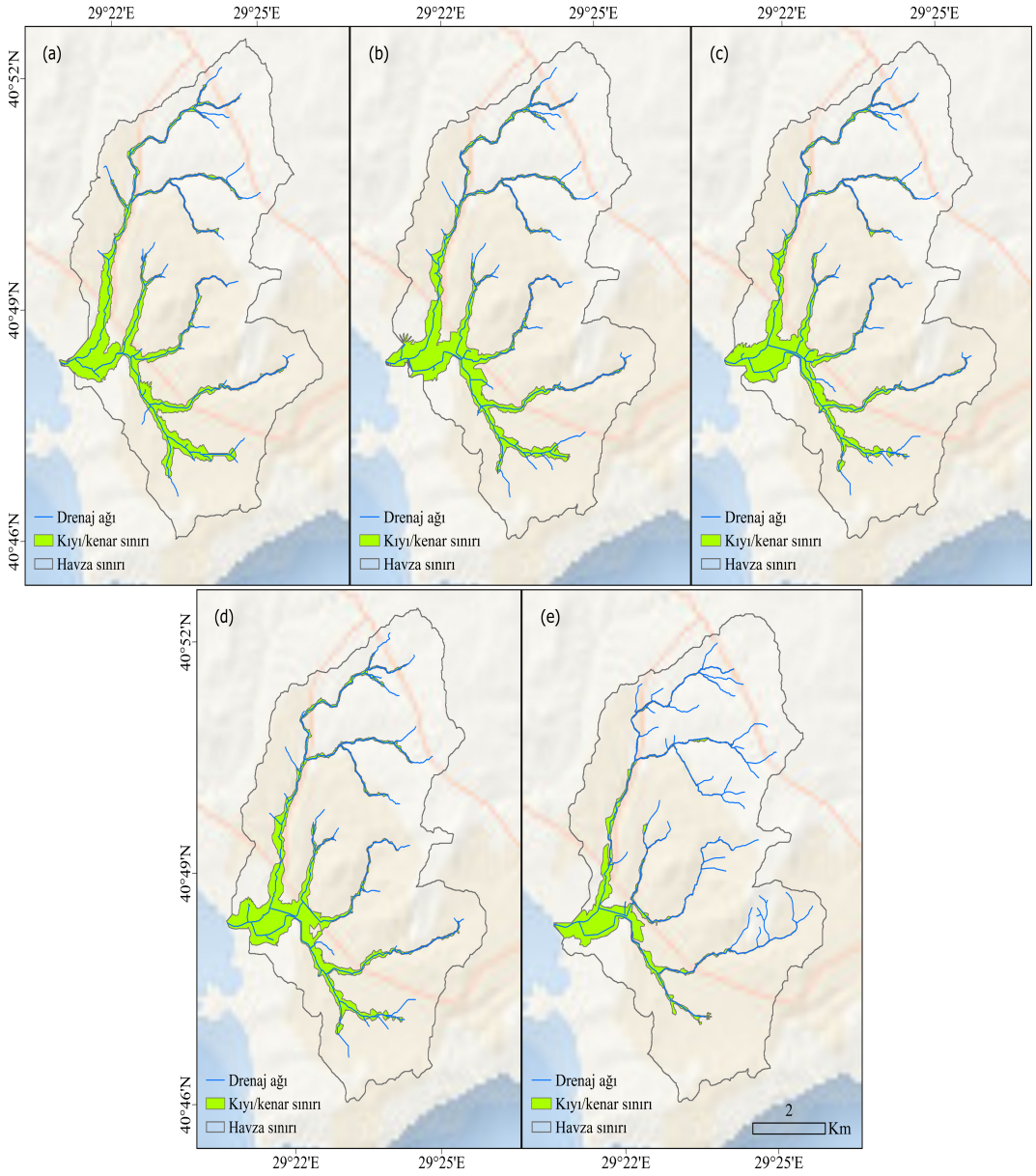
Şekil 3.15 Nehir kıyısı bölgesi sınırlarını belirleyen kesit noktaları (Abood vd. [193] çalışmasından revize edilmiştir.)

- Nehir kıyısı bölgelerindeki düzensiz kenarlar yumuşatılarak, vektör veriye dönüştürülür. Son olarak nehir kıyısı bölgeleri, daha önce oluşturulan göl tamponu ile birleştirilir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 Nihai nehir kıyısı bölgesinin türetilmesi (Abood vd. [193] çalışmasından revize edilmiştir.)

Her bir döneme ait nehir kıyı/kenar sınırları yukarıda belirtilen işlem adımları uygulanarak türetilmiştir (Şekil 3.17). İSU ile yapılan görüşmeler sonucunda, bölge için belirlenen 50 yıllık taşkın yüksekliği değeri 3 metre olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.17 Nehir kıyı/kenar sınırları; (a) 1957, (b) 1976, (c) 1997, (d) 2005 ve (e) güncel

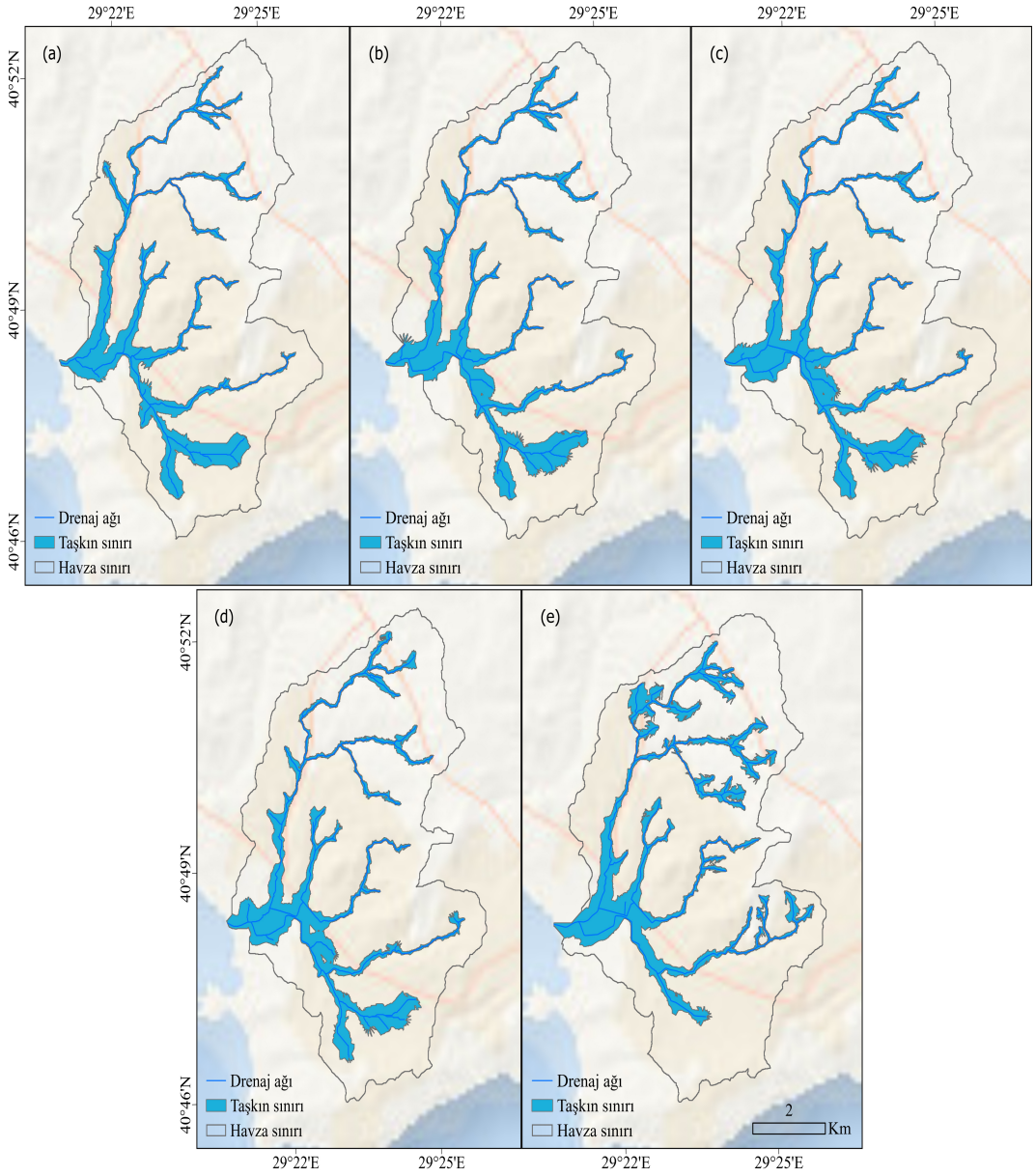
Hidromorfolojik değişimlerin incelenmesi için izlenmesi gereken bir diğer kriter taşkın sınırlarındaki değişimlerdir. Bir havzaya çok yüksek miktarda yağışın düşmesi ya da sıcaklık değişimlerinden dolayı kar örtüsünün hızlı erimesi gibi olaylar nehir yataklarındaki su miktarını arttırır. Bu durum yatak çevresindeki canlılar, araziler, mal ve mülk için zararlı taşkınları tetikler. Zararın en aza indirgenmesi için taşkın sınırlarının önceden tanımlanmış olması oldukça önemlidir [194]. Taşkın su baskını haritaları, taşkın riski yönetiminin temelini oluşturmakta, halkı ve şehir planlamacılarını bir bölgedeki taşkına eğilimli alanlar hakkında bilgilendirmektedir. Çoğu taşkın su baskını haritası, belirlenen dönüş periyotlarında pik akış deşarjını tahmin etmek için hidrolojik analizleri, su yüzeyi yüksekliklerini tahmin etmek için hidrolik simülasyonları ve su baskını

alanını tahmin etmek için ise arazi analizini içeren bilgisayar modellemesi ile üretilmektedir. Taşkın sınırlarının çıkarılması için kullanılan yöntemler arasında en bilineni topografik nemlilik indeksi olarak bilinen SYM analizidir [195]. Doğrusal ikili sınıflandırıcı [196] ve sel hidro-jeomorfolojik karakterizasyonu [197] gibi yöntemler de literatürde kullanılan SYM analiz yaklaşımlarıdır. Bu çalışma kapsamında taşkın sınırları bu yaklaşımların dışında Samela vd. [198] tarafından geliştirilen geomorphic flood area (GFA) aracı kullanılarak tespit edilmiştir.

GFA aracının çalışmasında temel dört girdi verisi bulunmaktadır:

- SYM üretilmiştir.
- Yapay çukurlar doldurulmuştur.
- Akış doğrultuları tespit edilmiştir.
- Akış birikinti değerleri hesaplanmıştır.

GFA aracı, sisteme girdi olarak eklenen bu verileri kullanarak bir arazi analizi gerçekleştirir ve her bir grid hücresi için yerel eğim (incelenen hücreyi bitişik hücrelere bağlayan sekiz olası akış yönü arasındaki maksimum eğim), drenaj ağı, hidrolojik akış yolları, her bir hücre ile drenaj ağının en yakın noktası arasındaki yükseklik farkı ve her bir hücrenin su akışına katkıda bulunan havzanın akış toplama alanı gibi çeşitli değişkenleri hesaplar. Sonrasında drenaj ağı boyunca taşkına duyarlı alanlar belirlenir. Beş farklı döneme ait türetilen taşkın sınırları Şekil 3.18'de yer almaktadır.



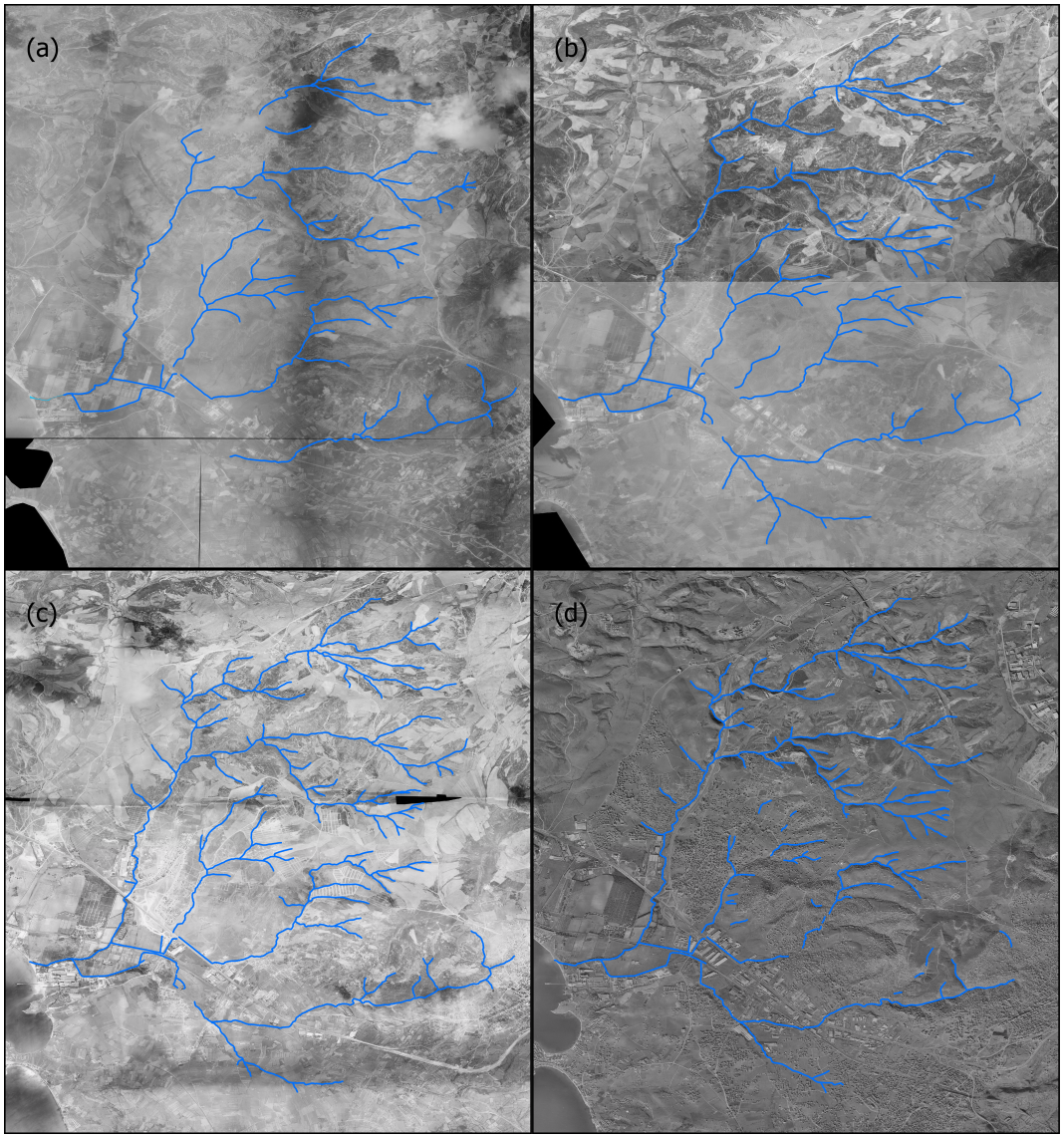
Şekil 3.18 Taşkın sınırlarının üretilmesi; (a) 1957, (b) 1976, (c) 1997, (d) 2005 ve (e) güncel

3.7.4 Kriterlerdeki Değişim

Kriterlerdeki değimimler, dere yatağı ile kıyı/kenar, taşkın ve havza sınırları içinde kalan kısımlar için SAM verilerinden dönemsel olarak izlenmiştir. Yükseklik ve eğim bilgileri, jeomorfolojik ve hidrografik özellikler, ulaşım ağları, yerleşim yerleri, toprak yapısı, bitki örtüsü, jeolojik yapı, nüfus dağılımı, sanayi, tarım ve endüstri bölgeleri gibi veriler bu kapsamında değerlendirilmiştir. Bu tez çalışmasında, dere yatağı ana kriteri altında incelenen nehir geometrisi alt kriteri, havza ana kriteri altında bulunan akış sırası, drenaj yoğunluğu, kompaktlık katsayısı ve arazi kullanım kriteri ile kıyı/kenar-taşkın sınırları ana kriteri altında yer alan

yapay yapılar ve bitki örtüsü alt kriteri SAM üzerinden çıkarılmıştır.

Nehir geometrisi ile ilgili verilerin türetilmesi için Bölüm 3.7.1'de bahsedilen analizler ile Saz-Çayırova bölgesine ait drenaj ağları türetilmiştir. Ayrıca, eski tarihli, 20 - 70 cm yer örnekleme aralığında değişen arşiv ortofoto görüntülerden drenaj ağı sayısallaştırılmıştır. Otomatik olarak türetilen ve sayısallaştırılan dere kolları kontrollü olarak modele dahil edilmiş ve nehir geometrisi dönemsel olarak değerlendirilmiştir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19 Ortofoto görüntüler üzerinden drenaj ağlarının sayısallaştırılması; (a) 1968 (b) 1973 (c) 1976 ve (d) 1993

1957 yılında topografik haritada gösterilen daimî ve kuru dere kollarının toplam uzunluğu 129 km iken, 1968 yılında ortofoto görüntülerinden sayısallaştırılan dere kolları 57 km olarak kaydedilmiştir (Şekil 3.19a). Bu, on bir yıllık süreçte dere kollarının uzunluğunda önemli bir azalma olduğunu gösterir. 1976

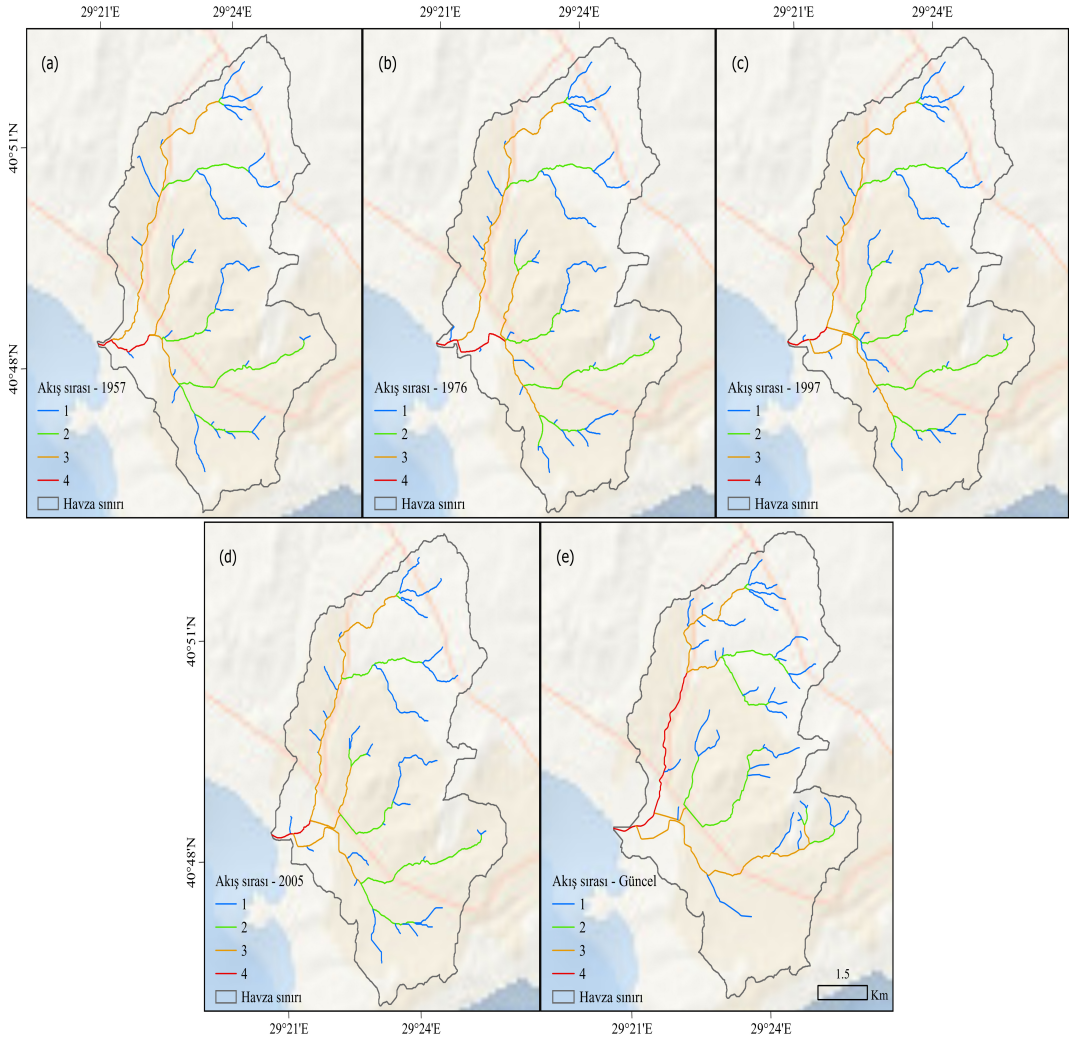
yılına gelindiğinde ise, topografik haritalar 112 km uzunluğunda dere kollarını gösterirken, 1973 (Şekil 3.19b) ve 1976 (Şekil 3.19c) yıllarına ait ortofoto görüntüler bu değeri sırasıyla 67 km ve 78 km olarak belirlemiştir. 1993 yılına ait ortofoto görüntülerden elde edilen verilerle 1997 ve 2005 yıllarına ait modeller oluşturulmuştur (Şekil 3.19d). Bu görüntülerde, daimî ve kuru dere kollarının uzunlukları sırasıyla 60 km ve 47 km olarak tespit edilmiş, ortofoto görüntüsünden elde edilen toplam dere kolları uzunluğu ise 68 km olarak hesaplanmıştır. Bu veriler, bölgedeki kentleşme ve endüstrileşme etkileri altında mevsimsel dere kollarının zamanla azaldığını veya tamamen kaybolduğunu göstermektedir.

Davies vd. [199] havza genelindeki değişimlerin akarsu habitatını etkilediğini belirtmiştir. Özellikle havza genelindeki değişimler, daha düşük çözünürlükteki değişkenlerin karakterizasyonu için bir çerçeve oluşturulmasını ve böylece akarsu çevresinde bulunabileceği tahmin edilen yerel fiziksel özelliklerin belirlenmesini sağlamaktadır [200, 201]. Hidromorfolojik değerlendirmeye etki eden havza kriterlerinden biri akış sırasıdır. Akış sırası, bir drenaj ağının bileşenlerini karakterize etmek için oluşturulur. Drenaj ağlarının her bir kolu için bir sıra numarası atanır. Horton [202], Hack veya Gravelius [203], Strahler [204], Scheidegger [205], Shreve [206] ve topolojik mesafe gibi çeşitli akış sırası sıralama yöntemleri önerilmiş ve geliştirilmiştir. Bu çalışmada, akış sıralarının belirlenmesi için Strahler akış sırası yöntemi tercih edilmiştir. Strahler yöntemi, derecelendirmeye nehir ağının en uç dallarından başlar ve bunlar birinci sıra olarak tanımlar. Sistem boyunca aşağı doğru ilerlerken, her birleşme noktasında, düğümlerin en yüksek sıraya sahip iki veya daha fazla eşit kolu olup olmadığı değerlendirilir. Eğer bu kollar mevcut değilse, mevcut en yüksek sıra korunur. Ancak, iki eşit kol bulunuyorsa, bu noktadaki düğümün sırası bir artırılır.

Çalışma bölgesinde drenaj ağlarına ait Strahler yöntemine göre üretilen akış sırası bilgileri, beş farklı dönem için Şekil 3.20'da gösterilmiştir. Her bir akış sıralarına ait toplam dere kolu uzunlukları Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3 Beş farklı döneme ait akış sırası sonuçları

Akış sırası	**Uzunluk (km)**				
	1957	**1976**	**1997**	**2005**	**Güncel**
1	21,23	22,99	22,60	22,38	24,87
2	14,90	14,31	15,95	14,03	11,93
3	12,66	13,25	13,32	14,42	13,63
4	2,06	2,75	1,43	1,47	5,36



Şekil 3.20 Akış sırası değerleri; (a) 1957, (b) 1976, (c) 1997, (d) 2005 ve (e) güncel

Beş farklı dönem için hesaplanan akış sırası değerleri incelendiğinde çalışma bölgesi 4. dereceden bir drenaj ağına sahiptir. Birinci derece akış sıralarına sahip dere kolları, zaman içinde uzunluk ve konum açısından belirgin bir benzerlik sergilemektedir. Ancak, güncel dönemde birinci derece kollardaki kaynak noktalarında gözlenen çeşitlenme, bu kolların sayısında bir artışa işaret etmektedir. İkinci derece dere kollarında ise, bu durumun tam tersi bir gelişme söz konusudur. Üçüncü derece akış sırasına sahip dere kolları arasında, dönemler boyunca benzerlikler saptanmış ve bu kolların uzunluklarında önemli bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Dördüncü derece akış sırasına sahip dere kolları, tarih boyunca Çayırova deresi ve onun birleştiği kollar boyunca yer almıştır; fakat, güncel dönemde bu dere kollarının büyük çoğunluğu Saz deresi kollarında tespit edilmiştir. Bu durumun temel nedeni, Saz deresinin güney kolunda üçüncü derece akış sırasına sahip dere kollarının sayısının artış göstermesidir.

Havza ana grubuna ait diğer alt kriterden biri drenaj yoğunluğudur. Bir havzadaki toplam drenaj ağı uzunluğunun havzanın alanına oranıdır. Yüzeyin akarsular

tarafından parçalanma oranını ortaya koymaktadır. Horton [202], drenaj yoğunluğu değerinin doğru bir şekilde hesaplanması için bir metodoloji önermiştir. Bu metodoloji, topografik haritalar üzerinde akarsuları temsil eden mavi çizgilerin toplam uzunluğunun, ilgili havza alanı ile bölünmesini içerir. Horton, hesaplama yapılırken yalnızca sürekli akarsuların değil, mevsimsel akarsuların da göz önünde bulundurulmasının önemine işaret etmiştir. Bu yaklaşım, sürekli akış göstermeyen veya tamamen kurumuş vadilerin de drenaj yoğunluğu üzerindeki etkilerini dikkate alarak daha kapsamlı bir değerlendirme sunmaktadır [207].

1957, 1976, 1997, 2005 ve güncel döneme ait drenaj yoğunluğu değerleri sırasıyla 2,8891, 2,1439, 1,7000, 0,7067 ve 0,7083 km/km^2 olarak hesaplanmıştır. Birden fazla döneme ait drenaj yoğunluğu değerlerinin karşılaştırılabilmesi için Malik vd. [208] tarafından önerilen drenaj yoğunluğu sınıflandırmaları kullanılmıştır. Sınıflama değerlerine göre; 0-2 (düşük), 2-2.5 (orta), 2,5-3 (yüksek) ve 3'ten büyük (çok yüksek) drenaj yoğunluk değerleri yer almaktadır. Çalışma bölgesi, yüksekten düşüğe doğru bir drenaj yoğunluğu değişimi sergilemektedir. 1957 yılında bölgenin düşük infiltrasyon kapasitesi ve toprak geçirgenliği, yüzeysel akışın yer altına sızamamasına ve sonuç olarak drenaj yoğunluğunun yüksek olmasına yol açmıştır. 2000'li yıllara gelindiğinde, havzada gözlenen kentleşme ve endüstrileşme, yüzeysel suların yeraltına daha fazla sızmasını sağlamış, bu da yeraltı akımlarının oluşmasına ve akarsu aralıklarının azalmasına neden olmuştur. Bu değişiklikler, düşük drenaj yoğunluğu değerlerinin elde edilmesine işaret etmektedir.

Kompaktlık katsayısı diğer bir ifade ile Gravelius indeks değeri, havza şekli hakkında bilgi verirken bir kriterdir. Değerin küçük olması havzanın dairesel bir görünümde olması anlamına gelir. Bu katsayı havza şekillerini açıklayan bir indekstir ve havza çevresi ile aynı havza alanına sahip bir dairenin çevresi arasındaki orandır. Dairesel bir havza için bu indeks değeri 1'dir. Tüm dönemlere ait kompaktlık katsayısı değerleri havza çevresi ve alan değerleri kullanılarak hesaplanmıştır [209]. 1997, 1976, 1997, 2005 ve güncel döneme ait kompaktlık katsayısı değerleri sırasıyla 1,9145, 1,9237, 1,9100, 1,8719 ve 1,9196'dır. Sonuçlar havzanın dairesel bir görünümden uzak, kuzey-güney yönünde uzunlamasına sahip bir havza olduğunu göstermektedir.

Havza ana grubuna ait son alt kriter arazi kullanım/örtüsü verileridir. Arşiv ve güncel dönemlere ait bölgenin arazi değişimleri CORINE arazi kullanım sınıfları dikkate alınarak topografik haritalar üzerinden sayısallaştırılmıştır (Tablo 3.4).

Tablo 3.4 Beş farklı döneme ait arazi kullanım bilgileri

Arazi kullanım/örtüsü sınıfları			**Kullanım alanı (%)**				
Seviye-1	**Seviye-2**	**Seviye-3**	**1957**	**1976**	**1997**	**2005**	**Güncel**
Yapay Bölgeler	Şehir Yapısı	Sürekli Şehir Yapısı	0,0	11,9	42,6	45,0	42,3
		Kesikli/Süreksiz Şehir Yapısı	3,6	14,4	10,8	12,2	15,2
	Endüstri, Ticaret ve Ulaşım Birimleri	Endüstriyel ve Ticari Birimler	2,0	10,8	15,8	25,8	28,3
		Karayolları, Demiryolları ve İlgili Alanlar	1,7	1,1	4,1	4,5	5,2
	Maden Ocağı, Boşaltım ve İnşaat Sahaları	İnşaat Sahaları	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0
Tarımsal Alanlar	Sürekli Ürünler	Üzüm Bağları	9,9	0,0	0,0	0,0	0,0
		Meyve Bahçeleri	0,0	1,0	0,2	0,0	0,0
		Zeytinlikler	8,5	10,9	0,0	0,0	0,0
	Karışık Tarımsal Alanlar	Karışık Tarım Alanları	0,0 0,0	0,0 0,0	2,4 2,4	0,0 0,0	0,0 0,0
Orman ve Yarı Doğal Alanlar	Ormanlar	Karışık Ormanlar	0,0	8,8	1,3	5,3	3,7
	Maki ve Otsu Bitkiler	Doğal Çayırlıklar	23,0	36,7	18,5	1,9	4,9
		Fundalıklar	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0
		Bitki Değişim Alanları	51,3	4,3	4,3	2,0	0,4

1957'den bugüne Saz-Çayırova havzasında incelenen yıllar boyunca, yeşil alan olarak adlandırılan sınıflar yaklaşık 18 kat azalmış, yerleşim ve sanayi alanları ise yaklaşık 21 kat artmıştır. 1957 yılında havzanın güney batısında küçük bir alana sahip olan sanayi bölgeleri, güncel döneme kadar sınırlarını genişleterek kuzeye doğru yayılmıştır. Yerleşim alanları 1957'de neredeyse yokken, bölge yıllar içinde aldığı göç ve sanayi alanlarının kurulmasıyla birlikte şehirleşmenin merkezi haline gelmiştir. Bölgedeki tarımsal faaliyetler, şehirleşme ve endüstrileşme nedeniyle neredeyse yok olma noktasına gelmiştir [156].

Kıyı/kenar ve taşkın ana gruplarına ait yapay yapılar ve bitki örtüsü değişimleri bölgenin arazi kullanım verileri üzerinden incelenmiştir. Her döneme ait kıyı/kenar ve taşkın sınırları içerisinde kalan yapay bölgeler ve orman ve yarı doğal alanların değişim düzeyleri tespit edilmiştir (Tablo 3.5).

Tablo 3.5 Kıyı/kenar ve taşkın sınırları içinde kalan yapay yapı ve bitki örtüsü alanları

		Alan (km^2)				
		1957	**1976**	**1997**	**2005**	**Güncel**
Kıyı/kenar	Yapay Yapılar	0,008	1,003	16,513	24,940	29,084
	Bitki Örtüsü	36,010	18,954	6,417	2,626	2,166
Taşkın	Yapay Yapılar	0,011	1,601	17,367	30,810	33,662
	Bitki Örtüsü	37,013	18,988	6,679	2,645	2,030

1957 yılında, kıyı/kenar ve taşkın sınırları içerisinde yeşil alanlar baskınken, yapay yapılar neredeyse yok denecek kadar azdır. Ancak zamanla, bu yeşil alanlar dramatik bir şekilde azalmış ve yerlerini yapay yapıların almasıyla sonuçlanmıştır. Güncel döneme geldiğimizde, kıyı/kenar ve taşkın sınırları içindeki yapay yapıların kapladığı alan, başlangıçtaki duruma kıyasla yaklaşık 3635 kat artış göstermiştir. Buna karşılık, yeşil alanlar yaklaşık 17 kat azalmıştır.

3.8 Hidrolojik Model

Çalışma kapsamında geçmişe yönelik bazı kriterlerin modelleme yoluyla elde edilebileceği tespit edilmiştir. Bu kriterler arasında yer alan debi, sediment ve erozyon biriktirme karakteri değerleri toprak ve su değerlendirme aracı (Soil and Water Assessment Tool - SWAT) kullanılarak türetilmiştir. SAM verilerine

bağlı olarak 1957, 1976, 1998, 2006 ve güncel dönem yıllarını kapsayan beş ayrı simülasyon gerçekleştirilmiştir. Belirtilen yıllarda, bu kriter süreçleri nicel olarak belirlenmiş ve değişim düzeylerinin incelenebilmesi sağlanmıştır. Model oluşturulması için gerekli olan diğer veriler, toprak veri tabanı, meteorolojik veri setleri ve Saz- Çayırova havzasındaki noktasal deşarj ölçümlerini içermektedir [161]. Hidrolojik model kurulum stratejisi beş ayrı simülasyon üzerinden kurgulanmıştır. Her bir simülasyon, gerçekleştirildiği dönemlere özgü olarak 1957-1976, 1977-1997, 1998-2005, 2006-2017, ve 2018-2021 yılları arasında sırasıyla Sim-57, Sim-77, Sim-98, Sim-06 ve Sim-2018 olarak adlandırılmıştır. Simülasyon dönemleri, havzada arazi kullanımındaki göreceli yüksek değişimler göz önünde bulundurularak belirlenmiştir [156].

3.8.1 Girdi Parametreleri

Modelin ana bölümü, SYM verilerinin modele entegrasyonunun ve drenaj ağı ile alt-havza sınırlarının tanımlandığı havza tanımlayıcı kısmıdır. Sim-18 için, Saz deresi üzerindeki debi ve AKM parametrelerinin ölçüm noktaları, alt havza çıkışları olarak kabul edilmiştir. Çayırova'nın çoğu kolu, yerel yönetimlerin yaptığı ıslah çalışmaları sonucu yer altına alındığı için bu kollarda debi ölçümleri yapılamamıştır. Arazi kullanım sınıflarında yer alan Seviye-3 tanımlamaları, SWAT modelinin tanıyabileceği sınıf kodlarına göre düzenlenmiştir [161].

Toprak veri setlerinin elde edilmesi işleminde, Saz deresinin tüm kollarını temsil edecek şekilde 25 farklı noktadan toprak örnekleri toplanmıştır. Çayırova deresinde ise dört noktadan alınan toprak örnekleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Toprak örnekleme noktalarının belirlenmesinde havzanın ana toprak grupları, eğim ve derinlik değerleri ile arazi kullanımı ve örtüsü göz önünde bulundurulmuştur. SWAT modelinde, girdi değişkenleri olarak çeşitli fiziksel ve kimyasal toprak parametreleri kullanılmıştır. Bu parametreler arasında bulk yoğunluk (g/cm^3), organik karbon içeriği, maksimum köklenme derinliği, toprak yüzeyinden alt tabakaya kadar olan derinlik, kil, silt, kum ve çakıl içeriği, Universal Soil Loss Equation (USLE) toprak aşınabilirlik faktörü yer alır. Bu faktörler, saha ve laboratuvar çalışmalarıyla analiz edilmiştir. Maksimum çatlak hacmi (m^3/m^3), gözeneklilik fraksiyonu, değerlendirilebilir nem içeriği (nm/nm) gibi diğer parametreler ise literatürden alınan değerlerle değerlendirilmiştir [156].

Toprak veri tabanı, üç aşamalı bir süreçle oluşturulmuştur. Birinci aşamada, laboratuvar ve saha analizleri sonucu elde edilen toprak profil derinliği, aşınabilirlik faktörü, hidrolik iletkenlik, organik karbon ve kil-kum-silt-kaya içeriği gibi değerlerin alansal dağılımı, IDW enterpolasyon yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

İkinci aşamada, elde edilen haritalar toprak dokusu ve ana toprak gruplarına göre çakıştırılarak uyum sağlanmıştır. Üçüncü aşamada, harita yeniden sınıflandırılarak SWAT modeline entegre edilecek 15 farklı toprak bölgesi oluşturulmuştur. Sayısallaştırılan toprak haritasına göre, Saz-Çayırova havzasında üç ana toprak grubu saptanmıştır: rendzinalar (%16,5), kireçsiz kahverengi orman toprakları (%10,9) ve kireçsiz kahverengi topraklar (%37,5). Diğer alanlar yerleşim bölgesi olarak sınıflandırılmıştır. Toprak örnekleri analizi sonucunda üç farklı toprak dokusu; kumlu-balçık (%82,6), silt-balçık (%13,8) ve tınlı-kum (%3,6) olarak belirlenmiştir [161].

SWAT hidrolojik model kurulumu, yağış, maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, güneş radyasyonu, rüzgâr hızı ve bağıl nem, kuru gün sayısı, ıslak gün olasılığı ve yarım saatte düşen maksimum yağış sayısı gibi detaylı bir meteorolojik veri tabanına ihtiyaç duyar. Zamansal veri çözünürlüğü saatlik, günlük, aylık ve yıllık periyotlarda elde edilebilmektedir. Bu çalışmada havzanın içinde ve çevresinde yer alan dört adet (Çayırova, Darıca, Gebze ve Tuzla) meteoroloji istasyonunda aylık ölçüm verileri ve Ulusal Çevre Tahmin Merkezi (National Centers for Environmental Prediction - NCEP) istasyonundan indirilen aylık yeniden analiz veri tabanı kullanılmıştır. Meteoroloji istasyonlarından Gebze istasyonunun 2000 yılında kurulmasından ötürü bu yıla kadar NCEP verileri kullanılmıştır. Sim-98'in %75'i, Sim-06 ve Sim-18'in ise tamamı ölçüm verilerinden oluşmaktadır [156].

Günümüzde, çalışma bölgesi ve çevresi için en yüksek kirlilik yükünü oluşturan noktasal deşarjlar, özellikle organize sanayi bölgeleri üzerindedir. Gebze Organize Sanayi Bölgesi (GOSB) ve Otomotiv Tedarik Sanayi İhtisas Organize Sanayi Bölgesi (TOSB), sırasıyla 2010 ve 1997 yıllarından itibaren arıtılmış sularını Saz deresine deşarj etmeye başlamışlardır. Bu nedenle, noktasal deşarj verileri TOSB için 1997'den itibaren (Sim-98) ve GOSB için 2006'dan itibaren (Sim-06) modele tanımlanmıştır. GOSB için belirlenen minimum ve maksimum günlük deşarj debileri sırasıyla 1678 m^3/gün ve 6436 m^3/gün olup, ortalama günlük debi 4281 m^3/gün olarak kaydedilmiştir. TOSB için günlük deşarj değeri ise 1500 m^3/gün olarak modele tanımlanmıştır [156].

Sim-57, Sim-77 ve Sim-98 simülasyonlarıyla temsil edilen yıllarda, Saz-Çayırova dereleri endüstriyel atıklardan çok, evsel nitelikli deşarjların etkisine maruz kalmıştır. Bu simülasyonlarda kullanılan günlük deşarj miktarları, Türkiye İstatistik Kurumu tarafından sağlanan nüfus verilerine dayanarak hesaplanmıştır (Tablo 3.6). Tchobanoglus vd. [210] çalışmasında, yerleşim bölgelerinden kaynaklanan kişi başına düşen deşarj miktarı 0,193 m^3/gün olarak belirlenmiştir. Bu oran, projede nüfus verileriyle debi hesaplamalarında temel alınmıştır. Ek olarak,

Darıca, Güzeltepe ve Şekerpınar yerleşimlerinde 1960, 1980 ve 2000 yıllarında yapılan nüfus sayımları değerlendirilmiş ve 2000 yılında Çayırova'da ilk kez gerçekleştirilen nüfus sayım sonuçlarının etkisi modele dahil edilmiştir [161].

Tablo 3.6 Havza genelinde yapılan nüfus sayımları ve Sim-57, Sim-77, Sim-98 için modele entegre edilen debi değerleri

Yerleşim	Nüfus			Debi (m^3/gün)		
	1960	**1980**	**2000**	**Sim-57**	**Sim-77**	**Sim-98**
Çayırova	-	-	22964	-	-	4432,1
Darıca	3856	24900	85818	744,2	4805,7	16562,9
Güzeltepe	907	1462	-	175,1	282,2	-
Şekerpınar	173	367	6309	33,4	70,8	1217,6

3.8.2 Model Kalibrasyonu ve Validasyonu

Kalibrasyon ve validasyon süreçleri için SWAT kalibrasyon ve belirsizlik prosedürleri SWAT-CUP 2012 v.5.1.6 otomatik kalibrasyon yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yazılım, gözlem ve model verileri arasındaki belirsizlikleri veya hassasiyetleri kolayca analiz etme imkânı sunar. Yazılım, Sıralı Belirsizlik Uyumu (Sequential Uncertainty Fitting 2 - SUFI-2), Markov Zinciri Monte Carlo (Markov Chain Monte Carlo - MCMC), Parametre Çözümü (Parameter Solutions - PARASOL) ve Genelleştirilmiş Olasılık Belirsizlik Tahmini (Generalized Likelihood Uncertainty Estimation - GLUE) olmak üzere dört farklı optimizasyon yöntemi sunar. Projede, daha az simülasyon gerektiren ve güvenilir sonuçlar sunan SUFI-2 yöntemi tercih edilmiştir. Özellikle karmaşık yapıdaki havza alanlarında, bu yöntem kalibrasyon sürecinde zaman açısından büyük bir avantaj sağlar [156].

Simülasyon sonuçları, Nash-Sutcliffe (NSE) ve Percent Bias (PBIAS) istatistiksel performans göstergeleri ile değerlendirilmiştir (Tablo 3.7). NSE, modelin tahmin yeteneğini gösteren bir değerdir ve ideal olarak 0 ile 1 arasında olması tercih edilir. 1'e yaklaşan değerler modelin gözlem verileriyle iyi uyum sağladığını gösterir. PBIAS ise, simülasyon değerlerinin gözlemlenen değerlere göre sapmasını, negatif veya pozitif olarak ölçer; pozitif değerler gözlemlenen değerlerin simülasyon değerlerinden daha yüksek olduğunu belirtir, negatif değerler ise tam tersini işaret eder [161].

Kalibrasyon ve validasyon işlemleri debi ve sediment taşınımı için kurulan iki ayrı model (Sim-77 ve Sim-18) için yapılmıştır. Bu modellerde 14 aylık periyotta gerçekleştirilen arazi çalışmaları ve 1982-1986 yılları arasında DSİ istasyonuna ait debi ölçümleri kullanılmıştır. Hidrolojik model üzerinden değerlendirilen erozyon

Tablo 3.7 Hidrolojik model çıktılarının genel performans değerlendirme aralıkları

Performans Kriteri	NSE	PBIAS	
		Debi	Sediment
Çok iyi	0,75-1,00	< ±10	< ±15
İyi	0,65-0,75	±10 - ±15	±15 - ±30
Yeterli	0,50-0,65	±15 - ±25	±30 - ±55
Yetersiz	0,50	±25	±55

biriktirme karakteri kriteri için değerlendirmeler debi ve sediment için oluşturulan modeller üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, erozyon biriktirme karakteri için model kalibrasyonu ve validasyonu yapılmamıştır. Tüm bu işlemler sonrasında 1957 ile güncel dönem arasında aylık periyotlara sahip debi, sediment ve erozyon biriktirme karakteri değerlerini içeren bir veri seti elde edilmiştir (Tablo 3.8). 1957 yılından günümüze kadar incelenen üç kriterde gözlemlenen azalma eğilimi, bölgede yağış miktarlarının zaman içinde azalmasıyla ilişkilendirilebilir. Bu azalan yağışlar, dere debilerinde ve sediment taşıma kapasitelerinde düşüşlere yol açmıştır. Bölgedeki endüstriyel deşarjlar artmasına rağmen, bu değişiklikler dere debileri ve sediment taşıma kapasitelerindeki azalmayı engelleyememiştir. Ayrıca, arazi kullanımındaki değişiklikler ve dere yataklarının ıslah edilmesi ile dere kollarındaki erozyon biriktirme oranlarında azalmaya neden olmuştur. Bu durum hem doğal hidrolojik koşulların değişimi hem de insan etkilerinin bölgesel su döngüsü üzerindeki etkilerini yansıtmıştır.

Tablo 3.8 Hidrolojik model üzerinden elde edilen debi, sediment ve erozyon biriktirme karakteri değerleri

Kriter/Yıl	1957	1976	1997	2005	Güncel
Debi (m^3/s)	0,38	0,35	0,33	0,29	0,27
Sediment (mg/L)	88,13	77,69	65,36	58,33	52,02
Erozyon biriktirme karakteri (ton/ha)	1,27	1,20	1,10	0,93	0,75

3.8.3 Uzman Görüşleri

SÇD'nin 10 numaralı "Nehirler ve Göller-Tipoloji, Referans Koşullar ve Sınıflandırma Sistemleri" adlı rehber dokümanında, doğrudan ölçümler ile ya da analiz sonucu elde edilemeyecek kriterlerin belirlenmesinde uzman görüşüne başvurulması önerilmektedir [211]. Çalışma kapsamında dere yatağı değişimi ana kriteri altında yer alan nehir içi bitki örtüsü ve organik atıklar, nehir içi yapay

yapılar ve yeraltı suyu bağlantısı; Kıyı/kenar bölgesi ana kriteri altında nehir kenar materyali ve mendereslenme; taşkın bölgesi ana kriteri altında sulak alanlar kriterleri için uzman görüşleri alınarak değerlendirme yapılmıştır. Bunlara ilişkin açıklamalar Bölüm 5'te yapılmıştır.

4
ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

Oxford Sözlüğü, karar vermeyi "önemli bir şey hakkında karar verme süreci" olarak tanımlamakta; karar terimini ise "yapılacak en iyi şeyin ne olduğu hakkında düşündükten ve konuştuktan sonra yapılan bir seçim ya da yargı" olarak açıklamaktadır [212]. Karar verme süreci iki zorlu yön içerir: (1) Farklı karar vericiler, 'yapılacak en iyi şey' kavramını farklı şekillerde yorumlayabilir ve (2) en iyiyi belirlemek için her bir birey genellikle birbiriyle çelişen bir dizi değerlendirme kriterini göz önünde bulundurabilir. Çok sayıda karar vericinin konuyla ilgili birbiriyle çelişen bakış açılarını ifade etmesi süreci daha da karmaşık hale getirir [213, 214].

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV), karar vericinin/vericilerin bir dizi değerlendirme kriterine göre diğer uygulanabilir alternatiflerle karşılaştırıldığında ilgili tarafların çıkarlarını en iyi şekilde yansıtan bir dizi çözümü tercih etmesini sağlayan mantık temelli, matematiksel çerçeveler topluluğudur [215]. ÇKKV kavramı oldukça uzun bir süredir kullanılmasına rağmen, 1960'ların ve 1970'lerin başlarında hesaplamalı zekanın ortaya çıkmasından bu yana hem teorik çerçevelere hem de pratik uygulamalara yapılan katkılarla hızla büyüyen bir araştırma alanına dönüşmüştür. Bilgi ve iletişim teknolojisinden sağlık hizmetlerine, iklim değişikliğinden hukuk ve politikaya, kamu güvenliğinden kimya ve biyokimya mühendisliğine kadar uzanan çeşitli alanlarda karar verme problemlerini çözmek için kullanılmaktadır [216].

Su kaynakları planlaması ve yönetimi çok sayıda ÇKKV çalışmasına konu olmuştur. 1970'lerin başından bu yana, ÇKKV yöntemlerinin bu alandaki uygulamalarında artan bir eğilim gözlenmektedir [214]. Suyun bağlantı rolü, bu hayati kaynağın planlama ve yönetimi süreçlerinde giderek artan bir öneme sahiptir. Hajkowicz ve Collins [217], 1973'ten 2005'e kadar ÇKKV yöntemlerini kullanan 34 ülkeden 113'ün üzerinde su kaynaklarıyla ilgili makaleyi incelemiştir. ÇKKV yöntemlerinin su politikası değerlendirmesi, stratejik planlama ve altyapı seçimi için yoğun bir şekilde kullanıldığını tespit etmiştir. En yaygın olarak bulanık

küme analizi, ikili karşılaştırma ve üstünlük sıralaması yöntemleri olmak üzere çok çeşitli ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır. Zolghadr-Asli vd. [214] 2000 ile 2019 yılları arasında ÇKKV yöntemlerini kullanan 57'den fazla ülkeden 320'den fazla su kaynaklarıyla ilgili makaleyi incelemiştir. Su kaynakları planlanması ve yönetimi ile ilgili olarak coğrafi faktörler, ilgili karar vericilerin sayısı, ÇKKV yöntemlerinin türü, alternatif ve kriter sayısı ve ağırlık atama yöntemleri bunlar arasındadır.

Hidromorfolojik değerlendirme çalışmalarının ana terimi olan nehirler ile ÇKKV teknikleri üzerine yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Basitçe "nehir" ve "ÇKKV" anahtar kelimeleri ile yapılan Google akademik araması yaklaşık 2 milyonun üzerinde sonuç (bilimsel makalelerde 61000, 3 Temmuz 2024 tarihi itibariyle) vermektedir. ÇKKV yöntemleri çeşitli alanlarda yaygın olarak uygulanmasına rağmen, özellikle nehir hidromorfolojisine odaklanan çalışmalar az sayıdadır [143, 146]. Bu tez çalışması nehir hidromorfolojisine odaklı çalışmalardaki eksiklikleri gidermeyi hedeflemekte ve farklı ÇKKV araçlarının performanslarını karşılaştırmalı olarak değerlendirmektedir. Saz-Çayırova deresinde değişime neden olan etkenler farklı kriterler olarak kabul edilmiş ve hidromorfolojik değişim düzeyinin belirlenmesinde AHP, BWM ve F-AHP gibi üç farklı ÇKKV yöntemi incelenmiştir. ÇKKV yöntemlerinde tüm ana ve alt kriterlerin ağırlıkları çok sayıda uzmanın görüşleri alınarak belirlenmiştir. Çalışma çerçevesinde üç farklı ÇKKV yöntemi, hidromorfoloji alanında uzmanlaşmış kişilerin görüşlerini analiz etmek amacıyla kullanılmıştır. Bir coğrafyacı, on yedi çevre mühendisi, on dört harita mühendisi, beş inşaat mühendisi, iki meteoroloji mühendisi, iki malzeme ve metalurji mühendisi, bir jeoloji mühendisi, bir mimar, bir endüstri mühendisi ve bir kimya mühendisi olmak üzere toplam kırk beş uzmana yönlendirilen anketler doğrultusunda hidromorfoloji üzerindeki kriterlerin etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

4.1 Analitik Hiyerarşi Süreci

AHP en yaygın kullanılan ÇKKV yöntemlerinden biridir. Saaty tarafından 1980'li yılların başlarında geliştirilen AHP, karmaşık konuları hiyerarşik bir düzende yapılandıran ve göreceli önemlerine göre ağırlık değerlerinin hassas bir şekilde hesaplanmasını sağlayan nicel bir tekniktir [218]. AHP'nin birincil amacı, özellikle öznel değerlendirmelerin karar verme sürecinde kritik rol oynadığı senaryolarda faydalı olacak şekilde hem öne çıkan hem de daha az fark edilen faktörleri entegre etmektir. Bunu başarmak için, hiyerarşideki bir üst seviyeye göre her bir unsurun önemini ifade etmek üzere geleneksel 9 puanlık bir ölçek kullanır (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 AHP yönteminde ikili karşılaştırma ölçeği [218]

Önem	Tanım	Açıklama
1	Eşit önem	Her iki faktörde aynı derecede önem taşır.
3	Orta derecede önemli	Bir faktör diğerine göre biraz daha fazla tercih edilir.
5	Oldukça önemli	Bir faktör diğerine göre çok daha fazla tercih edilir.
7	Çok fazla önemli	Bir faktör diğerine göre güçlü bir şekilde tercih edilir.
9	Aşırı derecede önemli	Bir faktör diğerine göre mümkün olan en yüksek derecede tercih edilir.
2,4,6,8	Ara değerler	Tercih değerleri birbirine yakın olduğunda kullanılır.
Karşılıklı	Tersi	Eğer ikinci faktör birinci faktörden daha çok tercih ediliyorsa, ölçek değerinin tersi kullanılır.

AHP'nin ilk adımında "n" sayıda elemanın birbiriyle ikili karşılaştırılması sonucunda bir n×n boyutunda karşılaştırma matrisi oluşturulur (Eşitlik 4.1). Bu matris, elemanların birbirlerine göre önem derecelerini ifade eder. "n" elemanlı bir sistemde, elemanlar arasında yapılacak toplam ikili karşılaştırma sayısı $[n(n-1)/2]$ formülü ile hesaplanır. Bu formül, her elemanın diğer tüm elemanlarla bir kez karşılaştırılmasını sağlayarak gereksiz tekrarların önüne geçer ve karar verme sürecinin verimliliğini artırır.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1j} \\ a_{21} & 1 & a_{23} & \cdots & a_{2j} \\ a_{31} & a_{32} & 1 & \cdots & a_{3j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & a_{i3} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \tag{4.1}$$

Matriste "a_{ij}" kriterler arasındaki göreli önceliği ifade etmektedir. Bu kriterin karşılık değeri "a_{ji}" olarak ifade edilir ve 1/a_{ij} ile hesaplanır. Eşit öneme sahip karşılaştırmalara "1" değeri verilir. Bir kriterin kendi ile karşılaştırılması "1" ile ifade edilir. Bu aşamada elemanların göreceli olarak ağırlıkları belirlenir. A matrisi oluşturulduktan sonra kriterlerin yüzdesel ağırlık değerlerinin hesaplanması gerekir (Eşitlik 4.2). Her bir sütun öğesinin bulunduğu sütunun toplamına bölünmesi ile

matrisin normalize edilmesi ve ardından satır toplamlarının aritmetik ortalaması alınır. Bu işlemlere özvektör hesabı denir. Böylece ağırlıkların göreceli öncelikleri belirlenir (Eşitlik 4.3 ve Eşitlik 4.4).

$$C = \begin{bmatrix} c_{21} & c_{12} & c_{13} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & c_{n3} & \cdots & c_{nn} \end{bmatrix} \tag{4.2}$$

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} c_{ij}}{n} \tag{4.3}$$

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \tag{4.4}$$

Ardından ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılığı değerlendirilir. Tutarlılık oranı, λ olarak adlandırılan faktör sayısı ile hesaplanır. Bu matrisin tutarlılığını belirleyen ana kriterdir ve matrisin nasıl kendi içinde tutarlı olduğunu gösterir. λ değerini hesaplamak için, öncelikle ikili karşılaştırma matrisi A ile ağırlık vektörü W çarpılır. Bu işlem sonucunda D adında bir sütun vektörü elde edilir (Eşitlik 4.5).

$$D = \begin{bmatrix} d_{21} & d_{12} & d_{13} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & \cdots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & d_{n3} & \cdots & d_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \tag{4.5}$$

D sütun vektörü, önceki ağırlık vektörü ile bölündüğünde yeni bir E vektörü elde edilir. E vektörü, W ağırlık vektörüne bölünerek λmaks için yeni bir vektör hesaplanır. Bu vektörün elemanlarının ortalaması alındığında, en büyük özdeğer vektörü λmaks elde edilir (Eşitlik 4.6). Bu değer elde edildikten sonra tutarlılık indeksi (CI) Eşitlik 4.7 kullanılarak hesaplanır.

$$\lambda_{\text{maks}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i / w_i}{n} \tag{4.6}$$

$$CI = \frac{\lambda_{\text{maks}} - n}{n - 1} \tag{4.7}$$

Sonuçların tutarlılığını değerlendirmek için rastlantısal indeks değerlerinin bilinmesi gereklidir. Burada, n sayılı karşılaştırmalar için tanımlanan değerler Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2 Karşılaştırma matrislerinin boyutuna bağlı olarak rastlantısal indeks (RI) değerleri [218]

n	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Tutarlılık ve rastlantısal indeks değerleri belirlendikten sonra tutarlılık oranı (CR) Eşitlik 4.8 kullanılarak hesaplanır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{4.8}$$

CR değeri 0,10'dan küçük olduğunda, karar vericinin yaptığı karşılaştırmaların tutarlı olduğu kabul edilir. Eğer bu değer 0,10'dan büyükse, karşılaştırmalarda tutarsızlık veya AHP hesaplamalarında bir hata olduğu varsayılır. Tutarlılık değeri 0,10'dan büyük olduğunda, karar verici karşılaştırma verilerini yeniden değerlendirmelidir. Ancak bu değer 0,10'un altında ise, problem çözümüne devam edilmek için bu durum kabul edilebilir olarak görülür.

4.2 Best-Worst Yöntemi

BWM, Rezaei [219] tarafından geliştirilen, verilen alternatifleri birden fazla kritere göre göreceli önemlerine dayanarak önceliklendirmeyi hedefleyen doğrusal programlama tabanlı bir ÇKKV tekniğidir. Bu yöntem, karmaşık karar verme problemlerini ele almadaki basitliği ve etkinliği sayesinde, araştırmacılar ve uygulayıcılar arasında giderek popülerlik kazanmıştır. BWM süreci tipik olarak aşağıdaki altı adımdan oluşur:

- Adım 1: Karar verme probleminde kullanılan kriterler $(C_1, C_2, \ldots, C_n)$ tanımlanır.
- Adım 2: Karar problemindeki en iyi (en önemli) ve en kötü (en önemsiz) kriterler belirlenir.

- Adım 3: En iyi kriter ile diğer kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılır ve ardından Eşitlik 4.9'da gösterildiği gibi göreceli önemini (en iyiden diğerine) değerlendirmek için 1 ile 9 arasında değişen bir ölçekte numaralandırılır.

$$A_{EI} = (a_{EI1}, a_{EI2}, \ldots, a_{EIn}) \tag{4.9}$$

- Adım 4: En kötü kriter ile diğer kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılır ve ardından Eşitlik 4.10'da gösterildiği gibi göreceli önemini (diğerleri – en kötü) değerlendirmek için 1 ile 9 arasında değişen bir ölçekte numaralandırılır.

$$A_{\text{EK}} = (a_{1\text{EK}}, a_{2\text{EK}}, \ldots, a_{\text{nEK}})^T \tag{4.10}$$

- Adım 5: Kriterlerin nihai ve optimum ağırlıkları doğrusal programlama teorisine dayalı olarak Eşitlik 4.11'de temsil edilen model üzerinden hesaplanır.

$$\begin{gathered} \min \xi, \\ \left| \frac{W_{\text{EI}}}{W_j} - a_{\text{EI}j} \right| \leq \xi, \\ \left| \frac{W_j}{W_{\text{EK}}} - a_{j\text{EK}} \right| \leq \xi, \\ W_j \geq 0 \end{gathered} \tag{4.11}$$

  burada W_{EI} ve W_{EK} en iyi ve en kötü kriterlerin ağırlıklarına karşılık gelmektedir. $a_{\text{EI}j}$ en iyi kriterin j. kriter üzerindeki önceliğini, $a_{j\text{EK}}$ ise j. kriterin en kötü kriter üzerindeki önceliğini temsil etmektedir.

- Adım 6: Tutarlılık oranı (CR) hesaplanır. İkili karşılaştırmaların güvenilirlik derecesi Tablo 4.3'de gösterilen tutarlılık indeksi değerleri kullanılarak test edilir. Tutarlılık oranı Eşitlik 4.12 kullanılarak elde edilir.

Tablo 4.3 Best-Worst yöntemi için tutarlılık indeksi (CI) değerleri

a_{EIEK}	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
$\boldsymbol{CI(\max \xi)}$	0	0,44	1	1,63	2,3	3	3,73	4,47	5,23

$$CR = \frac{\xi^*}{CI} \tag{4.12}$$

CR değeri 0 ile 1 arasında değişmekte olup, düşük değerler değerlendirmelerde daha fazla tutarlılık olduğunu, yüksek değerler ise tutarlılığın azaldığını göstermektedir. Tutarlılık oranı ile ilgili olarak Liang vd. [220] kriter sayısına ve en iyi – en kötü arasındaki öncelik değerine bağlı olarak eşik değerler sunmuştur (Tablo

4.4). Burada ilgili değerden daha düşük değerlere sahip tutarlılık oranları, ikili karşılaştırmanın tutarlı olduğunu gösterir. Tutarlılık oranı ne kadar düşükse, ikili karşılaştırma o kadar tutarlı ve sonuçlar o kadar güvenilirdir.

Tablo 4.4 Tutarlılık oranı (CR) için eşik değerler

Kriter / a_{EIEK}	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
3	0,2087	0,2087	0,2087	0,2087	0,2087	0,2087	0,2087
4	0,1581	0,2352	0,2738	0,2928	0,3102	0,3154	0,3283
5	0,2111	0,2848	0,3019	0,3309	0,3479	0,3611	0,3741
6	0,2164	0,2922	0,3565	0,3924	0,4061	0,4168	0,4225
7	0,2090	0,3313	0,3734	0,3931	0,4035	0,4108	0,4298
8	0,2267	0,3409	0,4029	0,423	0,4379	0,4543	0,4599
9	0,2122	0,3653	0,4055	0,4225	0,4445	0,4587	0,4747

Tablo 4.4'den bir örnek vermek gerekirse 6 kriterli bir problemimiz varsa ve en iyi ile en kötü arasındaki ikili karşılaştırma değeri 7 ise, eşik değer 0,3931 olarak belirlenmiştir. Bu durum böyle bir problem için bu değer altında hesaplanan tutarlılık oranı değerlerinin kabul edilebilir olduğu anlamına gelir.

4.3 Bulanık-AHP

Geleneksel AHP yönteminde öncelik ağırlıkların belirlenmesi için kriterler ve alternatifler arasında ikili karşılaştırmaların yapılması ve bu ağırlıkların daha sonra alternatifleri sıralamak için kullanılmasıdır. Ancak, gerçek dünyadaki birçok karar verme problemlerinde, karar kriterlerinin kesin olmaması ve öznel olması nedeniyle net ve kesin karşılaştırmalar yapmak zorlaşmaktadır. Bunun üstesinden gelmek için F-AHP metodolojisi, geleneksel AHP'den türetilen ilerici bir analitik yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır [221]. F-AHP yöntemi, karar vericilerin yargılarını dilsel değişkenler veya bulanık sayılar cinsinden ifade etmelerine izin verir. Yöntem, karar kriterlerindeki ve alternatiflerdeki belirsizliği temsil etmek için bulanık mantık kullanır ve böylece daha incelikli ve esnek bir karar verme sürecine olanak tanır. Kriterler arasındaki ikili ilişkilere sıfırdan bire kadar değişen ağırlık değerleri atayan bir fonksiyon oluşturur. Bulanık oranları tasvir etmek için üçgen katılım fonksiyonlarına odaklanan ilk araştırmalarla birlikte çeşitli F-AHP teknikleri geliştirilmiştir [222, 223]. Chang [223] tarafından ortaya koyulan kapsam analizi, F-AHP ölçeği aracılığıyla ikili karşılaştırmaları kolaylaştırmak için üçgen bulanık sayıların (Triangual Fuzzy Numbers -TFNs) uygulanmasıyla başlar. Daha sonra, kapsam analizi yöntemi kullanılarak öncelik ağırlıklarını elde etmek için sentetik kapsam değerleri kullanılır. Bir sonraki adım, kriterler için bir bulanık

değerlendirme matrisinin oluşturulmasını içerir (Gulgen, 2014). Bu matris hem tercih faktörleri hem de TFNs kullanılarak genel hedefle ilişkili farklı niteliklerin ikili karşılaştırmalarının yapılmasıyla oluşturulur (Tablo 4.5).

Tablo 4.5 F-AHP'de kriterler arasındaki ikili ilişkileri tanımlayan değerler

Önem derecesi	**Bulanık rakamlar**	**Üyelik fonksiyonu**	**Etki alanı**	**Üçgensel bulanık ifade (l, m, u)**
Yaklaşık eşit	$\widetilde{1}$			(1, 1, 1)
Eşit önemli		$\mu_A(x) = (3-x)/(3-1)$	$1 \leq x \leq 3$	$(1,1,3)$
Az önemli	$\widetilde{3}$	$\mu_A(x) = (x-1)/(3-1)$	$1 \leq x \leq 3$	(1, 3, 5)
		$\mu_A(x) = (5-x)/(5-3)$	$3 \leq x \leq 5$	
Belirgin önemli	$\widetilde{5}$	$\mu_A(x) = (x-3)/(5-3)$	$3 \leq x \leq 5$	(3, 5, 7)
		$\mu_A(x) = (7-x)/(7-5)$	$5 \leq x \leq 7$	
Çok önemli	$\widetilde{7}$	$\mu_A(x) = (x-5)/(7-5)$	$5 \leq x \leq 7$	(5, 7, 9)
		$\mu_A(x) = (9-x)/(9-7)$	$7 \leq x \leq 9$	
Aşırı önemli	$\widetilde{9}$	$\mu_A(x) = (x-7)/(9-7)$	$7 \leq x \leq 9$	(7, 9, 9)

Tablo 4.5'de gösterilen üçgen yaklaşım çerçevesinde, bulanık sayılar (l, m ve u) ve farklı niteliklerin karşılaştırılmasına yönelik matris Eşitlik 4.13 ve 4.14'deki gibi ifade edilir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} (x-l)/(m-l), & l \leq x \leq m \\ (u-x)/(u-m), & m \leq x \leq u \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \tag{4.13}$$

$$\tilde{A} = (\tilde{a}_{ij})_{n\times n} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & \cdots & l_{1n}m_{1n}u_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{n1}m_{n1}u_{n1} & \cdots & (1,1,1) \end{bmatrix} \tag{4.14}$$

Burada l ve u, ikili karşılaştırmalar için tanımlanan matriste kullanılan en düşük ve en yüksek bulanık sayılardır. Başlangıç varsayımlarının belirlenmesinin ardından, Chang'in kapsam analizlerinin teorik temelleri, aşağıda ayrıntılı olarak verilen dört aşamalı bir prosedürle açıklanmaktadır.

- Adım 1: Bulanık işlemlerin kullanılması yoluyla toplam ham değerlerden normalleştirilmiş değerleri hesaplanır (Eşitlik 4.15). Burada $\otimes$ iki bulanık

sayının büyütülerek çoğaltılmasını göstermektedir.

$$\hat{S} = \sum_{j=1}^{n} \hat{a}_{ij} \otimes \left(\sum_{k=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \hat{a}_{kj} \right)^{-1} \tag{4.15}$$

- Adım 2: $\hat{S}_i \geq \hat{S}_j$ işleminin olasılık derecesi hesaplanır (Eşitlik 4.16).

$$V(\hat{S}_i \geq \hat{S}_j) = \sup_{x,y} \min(\hat{S}_j(x), \hat{S}_i(y)) \tag{4.16}$$

- Adım 3: $\hat{S}_i$'nin olasılık derecesi hesaplanır (Eşitlik 4.17).

$$V(\hat{S}_i \geq \hat{S}_j | j = 1, \ldots, n; j \neq i) = \min_{j \in \{1,\ldots,n\} j \neq i} V(\hat{S}_i, \geq \hat{S}_j), i = 1, \ldots, n \tag{4.17}$$

- Adım 4: Eşitlik 4.18 ile A bulanık karşılaştırma matrisinin W = $(w_1, \ldots, w_n)^T$ ağırlıkları öncelik vektörü olarak tanımlanır.

$$W = \frac{V(\hat{S}_i \geq \hat{S}_j | j = 1, \ldots, n; j \neq i)}{\sum_{k=1}^{n} V(\hat{S}_i \geq \hat{S}_j | j = 1, \ldots, n; j \neq k)}, i = 1, \ldots, n \tag{4.18}$$

Burada W, niteliklere öncelik ağırlıkları atayan bulanık olmayan bir sayısal değeri temsil etmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan F-AHP yöntemi tutarlılık hesaplarının yapılmasına imkân vermemektedir.

4.4 AHP, BWM ve F-AHP Yöntemlerinin Karşılaştırılması

ÇKKV problemlerinin çözümünde ağırlık gereksinimlerini belirlemek için uygun bir yöntemin seçilmesi, karar verme sürecinde kritik bir aşamadır. Parametrelerin ağırlıkları sonuçlar üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceğinden, değerlendirme probleminin çok kriterli doğasını göz önünde bulundurmak çok önemlidir. Ancak, ÇKKV yaklaşımlarının karşılaştırmalı analizlerinin sonuçlarının nasıl değerlendirileceği konusunda literatürde henüz bir fikir birliği oluşmamıştır [224]. Bu sorunun üstesinden gelmek ve yöntemlerin etkinliğini göstermek için Razaei [219] iki farklı değerlendirme kriteri kullanmıştır: minimum ihlal ve toplam sapma yaklaşımları. Bu kriterler, öznel sonuçların etkisini azaltmada ve yöntemlerin etkinliğinin nesnel bir değerlendirmesini sağlamada oldukça etkilidir.

Genel olarak, ÇKKV yöntemleri sıralı tercih yargılarını korumayı amaçlar [224]. Minimum ihlal (Minimum Violation - MV) yöntemi, sıralı tutarlılığı kontrol etmek için kullanılır. İkili karşılaştırma sırasında, uzman bir karar verici bir kriteri (a_i)

diğerinden (a_j) daha üstün olarak belirleyebilir. Ancak, bu iki kriterin ağırlıkları analiz edildiğinde, ilk yargının ihlal edildiğini gösteren çelişkili durum ($w_j > w_i$) ortaya çıkabilir. MV ağırlık vektörü, Eşitlik 4.19'daki bu tür ilişki ihlallerinin boyutunu araştırır.

$$MV = \sum_i \sum_j V_{ij}, \quad V_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } w_i > w_j \text{ ve } a_{ij} < 1, \\ 0.5 & \text{eğer } w_i = w_j \text{ ve } a_{ij} \neq 1, \\ 0.5 & \text{eğer } w_i \neq w_j \text{ ve } a_{ij} = 1, \\ 0 & \text{diğer.} \end{cases} \tag{4.19}$$

Burada V_{ij} değerinin daha düşük olması, ihlal sayısının azaldığını gösterir ki bu da ÇKKV yaklaşımının güvenilirliğinin ve sağlamlığının arttığını kanıtlamaktadır.

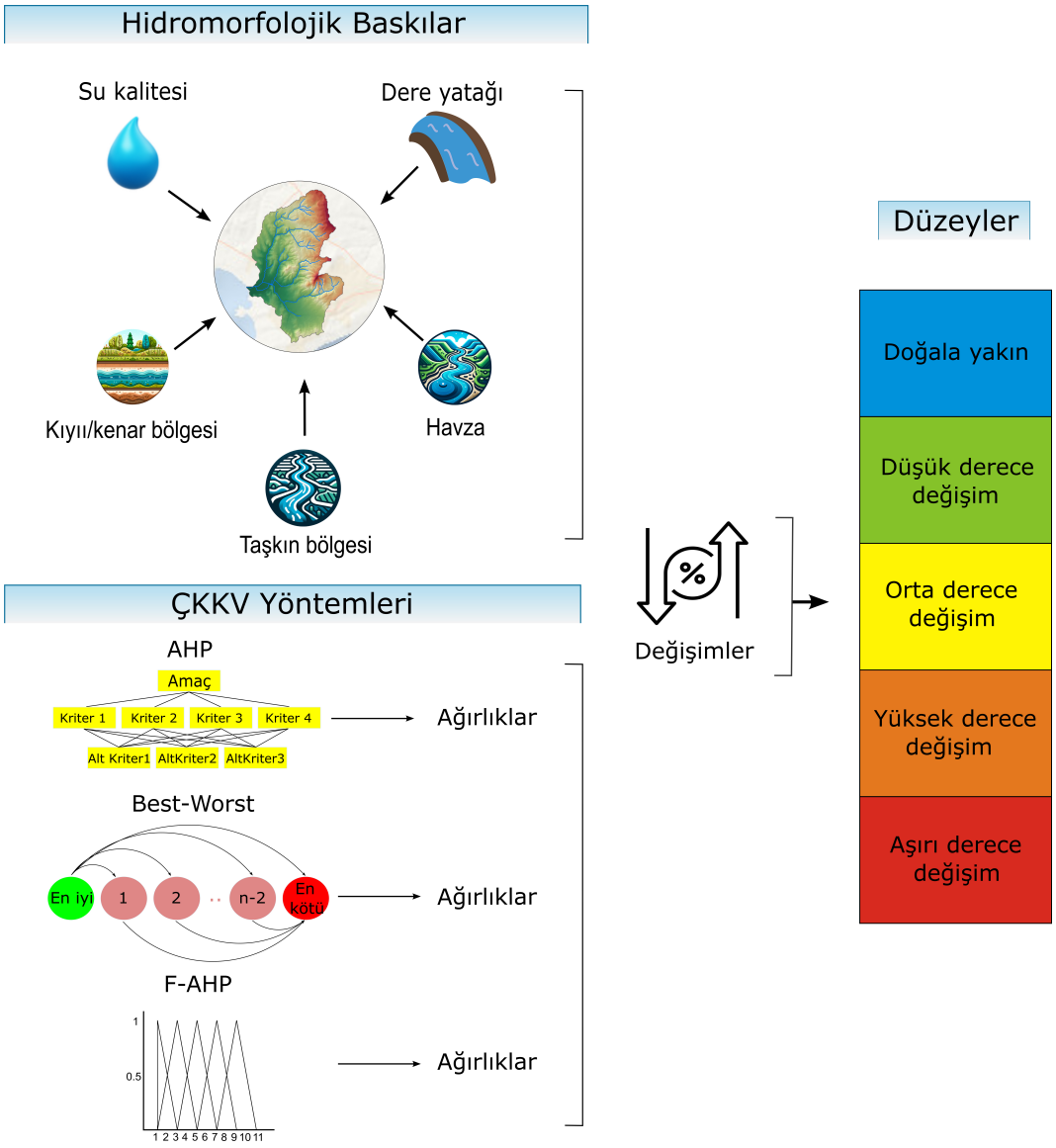
Toplam sapma (Total Deviation - TD) yöntemi, ağırlıklar ve bunların ikili karşılaştırmaları arasındaki oranı hesaplayarak bir modelin performansını ölçer. Eşitlik 4.20'de gösterildiği gibi ilgili matris veya vektördeki ağırlık oranları ile bunlara karşılık gelen karşılaştırma değerleri arasındaki sapmaların toplamını değerlendirir.

$$TD = \sum_i \sum_j \left(a_{ij} - \frac{w_i}{w_j} \right)^2 \tag{4.20}$$

TD değeri azaldıkça, yöntemden elde edilen ağırlık oranları karar vericiler tarafından sağlanan ikili karşılaştırmalara daha çok yaklaşmaktadır. Bu çalışmada kullanılan üç ÇKKV yönteminden elde edilen değerlendirme kriterleri arasında anlamlı farklılıklar olup olmadığını değerlendirmek için Friedman testi ve Wilcoxon işaretli sıralar testi yapılmıştır. Anlamlılık testleri, bir grubun yanıtlarının başka bir grubun yanıtlarından önemli ölçüde farklı olup olmadığını göstermektedir.

4.5 Hidromorfolojik Değişim Düzeyinin Belirlenmesi

Hidromorfolojik değişim düzeyine etki eden kriterler yukarıda bahsedilen üç ÇKKV yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Ağırlıklandırma işlemi Tablo 3.1'de listelenen her bir kriter için uzman görüşleri alınarak yapılmıştır. Çalışma bölgesinin Bölüm 3'te açıklanan referans düzeyi ile süreç içinde değişen koşulları arasındaki farklar beş sınıflı bir değerlendirme yaklaşımı kullanılarak puanlanmıştır (Şekil 4.1). Her bir kriter için değişim düzeyi EN 15843'de önerilen beş basamaklı bir sistematik kullanılarak sınıflandırılmıştır (Tablo 4.6).



Şekil 4.1 Hidromorfolojik değişim düzeyinin belirlenme süreci

Tablo 4.6 Hidromorfolojik değişim puanlama sistemi

Hidromorfolojik değişim (HD)	Niceliksel puanlama	Değişim aralığı	Niteliksel puanlama	Temsil edilen renk
HD <%5	1	1 – 1,5	Doğala yakın	Mavi
%5 <HD <%15	2	1,5 – 2,5	Düşük derece değişim	Yeşil
%15 <HD <%35	3	2,5 – 3,5	Orta derece değişim	Sarı
%35 <HD <%75	4	3,5 – 4,5	Yüksek derece değişim	Turuncu
HD> %75	5	4,5 – 5,0	Aşırı derece değişim	Kırmızı

Hidromorfolojik değişimin %5 ile sınırlı kaldığı durum doğala yakın olarak tanımlanmış ve niceliksel olarak 1 ile puanlanmıştır. Değişimin %5 - %15, %15 - %35 ve %35 - %75 arasında olduğu durumlar ara sınıflara atanmış ve bunlar sırasıyla 2, 3 ve 4 ile puanlanmıştır. %75 üzerindeki olan değişimler ise aşırı derecede değişim olarak ifade edilmiş ve 5 ile puanlanmıştır. Kriterler için yapılan hesaplamalar her bir erişim için ayrı yapılmıştır. Bir erişimin genel değişim puanı kriterler için hesaplanan ağırlıklar ve puanlar çarpılarak bulunmuştur. Hesaplanan genel değişim puanına göre bir erişimin değişim düzeyi Tablo 4.6'daki değişim aralığı dikkate alınarak belirlenmiştir.

4.6 ÇKKV Yöntemleri ile Ağırlıkların Belirlenmesi

Uzman görüşleri alınarak hidromorfolojik değişime etki eden kriterlere ait karşılaştırmalar yapılmış ve AHP, BWM ve F-AHP yöntemleri kullanılarak Bölüm 3.2'de yer alan hiyerarşik sınıflara ait ana ve alt kriter ağırlıkları tespit edilmiştir. Hiyerarşik sınıfın içindeki ilk değerlendirme ana kriterlerin karşılaştırılmasıdır. Tablo 4.7'de su kalitesi, dere yatağı, kıyı/kenar bölgesi, taşkın bölgesi ve havza ana kriter ağırlıklarına ait istatistik sonuçlar yer almaktadır. Ayrıca, AHP ve BWM yöntemi için hesaplanan tutarlılık oranı değerleri de sunulmuştur. Karar verme sürecindeki bulanık yapı nedeniyle F-AHP yöntemi için tutarlılık oranı değerleri hesaplanamamıştır.

Değerlendirilen ana kriterler arasında, su kalitesi parametresi üç ÇKKV yöntemi

Tablo 4.7 Ana kriterler için ÇKKV sonuçları

Ağırlıklar (n = 45)							**Tutarlılık**
		Su kalitesi	**Dere yatağı**	**Kıyı/kenar bölgesi**	**Taşkın bölgesi**	**Havza**	**oranı**
AHP	Ort.	0,3030	0,2276	0,1354	0,1792	0,1549	0,0494
	Min.	0,0348	0,0347	0,0326	0,0326	0,0312	0,0057
	Mak.	0,5858	0,5028	0,4791	0,5028	0,5477	0,0802
BWM	Ort.	0,3056	0,2322	0,1384	0,1797	0,1441	0,0195
	Min.	0,0446	0,0492	0,0380	0,0380	0,0350	0,0114
	Mak.	0,6188	0,5315	0,5000	0,5315	0,5487	0,0336
F-AHP	Ort.	0,2912	0,2469	0,1489	0,1774	0,1357	-
	Min.	0,0337	0,0345	0,0310	0,0317	0,0305	-
	Mak.	0,5885	0,5017	0,4830	0,5017	0,5581	-

için de en yüksek ağırlığa sahip olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, su kalitesi parametrelerinin hidromorfolojik değişim düzeyini doğrudan etkileyebilecek yapıda olduğunu gösterir. Bu parametreleri, dere yatağı, taşkın bölgesi, havza ve kıyı/kenar bölgesi gibi diğer önemli ana kriterler takip etmektedir. Toplamda 45 uzmandan toplanan görüşlerin tutarlılığı, AHP sonuçlarının 0,1 değerinden küçük olması ve BWM sonuçlarının sıfıra yaklaşması ile kanıtlanmıştır. Bu sonuçlar, uzmanların öznel yargılarını tutarlı bir şekilde karşılaştırdıklarını göstermektedir.

Su kalitesi parametrelerinin belirlenmesi sürecinde, 10 uzman kendi uzmanlık alanları dışında olduğunu ve görüşlerinde potansiyel yanlılıklar oluşabileceğini belirterek bu konuda görüş bildirmemiştir. Bu nedenle, bu parametreler üzerine yapılan değerlendirmeler, geriye kalan 35 uzmana yönlendirilen anketler üzerinden elde edilmiştir (Tablo 4.8ve Tablo 4.9).

Tablo 4.8 Su kalitesi arazi ölçüm kriterleri için ÇKKV sonuçları

Ağırlıklar (n = 35)						**Tutarlılık**
		pH	**ÇO**	**Eİ**	**ORP**	**oranı**
AHP	Ort.	0,2414	0,4686	0,1631	0,1270	0,0483
	Min.	0,0384	0,1219	0,0389	0,0373	0
	Mak.	0,6352	0,6427	0,5577	0,5579	0,0944
BWM	Ort.	0,2414	0,4642	0,1637	0,1307	0,0179
	Min.	0,0397	0,1304	0,0407	0,0373	0
	Mak.	0,5832	0,6719	0,5832	0,5797	0,0317
F-AHP	Ort.	0,2430	0,4677	0,1621	0,1272	-
	Min.	0,0359	0,1201	0,0380	0,0369	-
	Mak.	0,6451	0,6479	0,5561	0,5571	-

35 uzmanın değerlendirmeleri analiz edildiğinde, ÇO parametresi üç ÇKKV yöntemi için ortalama %46,68 ağırlık ile en öne çıkan kriter olarak tespit edilmiştir. ÇO parametresini, suyun asit-baz dengesini belirleyen pH parametresi yaklaşık %24,19 ağırlık ile takip etmektedir. Tutarlılık oranı sonuçlarından uzmanların birbirini destekleyen karşılaştırmalar yaptığı anlaşılmaktadır.

Su kalitesi parametrelerine yönelik laboratuvar ölçüm kriterleri değerlendirildiğinde, 35 uzman görüşleri ile hidromorfolojik değişime en fazla etki edecek parametre ağır metal kriteri olarak belirlenmiştir. Bu kriter üç ÇKKV yönteminde yaklaşık %29,19 oranında bir ağırlığa sahiptir. Ağır metal parametresini, nutrientler ve organik karbon parametreleri sırasıyla yaklaşık ortalama %21,92 ve %21,28 ağırlık ile takip etmektedir. Bazı uzmanların görüşleri dikkate alındığında, AHP yöntemi kullanılarak yapılan değerlendirmelerde maksimum tutarlılık değeri 0.1'e yakındır. Genel olarak yapılan karşılaştırmaların tutarlı olduğu söylenebilir.

Dere yatağı, kıyı/kenar bölgesi, taşkın bölgesi ve havzadaki değişimleri etkileyen alt kriterlere ilişkin görüşler 45 uzman tarafından elde edilmiştir. Uzmanların dere yatağı kriterleri için yaptığı değerlendirmeler Tablo 4.10'da verilmektedir.

Tablo 4.9 Su kalitesi laboratuvar ölçüm kriterleri için ÇKKV sonuçları

Ağırlıklar (n = 35)								**Tutarlılık**
		Nutrientler	**Toprak alkali metal**	**Ağır metal**	**Organik karbon**	**Alkalinite**	**AKM**	**oranı**
AHP	Ort.	0,2275	0,0556	0,2961	0,2132	0,0735	0,1341	0,0580
	Min.	0,0459	0,0229	0,0545	0,0302	0,0243	0,0317	0,0200
	Mak.	0,4522	0,4524	0,5341	0,4706	0,3178	0,4625	0,0979
BWM	Ort.	0,2112	0,0699	0,2785	0,2078	0,0858	0,1468	0,0158
	Min.	0,0460	0,0239	0,0829	0,0452	0,0285	0,0408	0,0082
	Mak.	0,4729	0,4405	0,4972	0,4972	0,3222	0,4972	0,0215
F-AHP	Ort.	0,2189	0,0509	0,3013	0,2173	0,0754	0,1363	-
	Min.	0,0407	0,0223	0,0530	0,0297	0,0220	0,0312	-
	Mak.	0,4526	0,4484	0,5453	0,4707	0,3168	0,4602	-

Tablo 4.10 Dere yatağı alt kriterleri için ÇKKV sonuçları

Ağırlıklar (n = 45)										**Tutarlılık**
		Nehir geo.	**Sediment**	**Menderes lenme**	**Nehir içi bitki örtüsü**	**Erozyon biriktirme karakteri**	**Debi/akış**	**Nehir içi yapay yapılar**	**Yeraltı su bağlantısı**	**oranı**
AHP	Ort.	0,0781	0,1504	0,0658	0,0890	0,1354	0,2330	0,1226	0,1257	0,0531
	Min.	0,0180	0,0313	0,0179	0,0174	0,0207	0,0723	0,0174	0,0183	0,0157
	Mak.	0,3603	0,3589	0,1923	0,3457	0,3200	0,3896	0,3822	0,4245	0,0899
BWM	Ort.	0,0828	0,1509	0,0763	0,0956	0,1275	0,2159	0,1236	0,1275	0,0148
	Min.	0,0217	0,0488	0,0247	0,0244	0,0328	0,0824	0,0278	0,0251	0,0075
	Mak.	0,3442	0,3745	0,2049	0,3654	0,3082	0,3813	0,4265	0,3841	0,0390
F-AHP	Ort.	0,0747	0,1544	0,0641	0,0894	0,1323	0,2358	0,1243	0,1278	-
	Min.	0,0171	0,0297	0,0158	0,0182	0,0201	0,0736	0,0157	0,0163	-
	Mak.	0,3553	0,3536	0,2575	0,3545	0,3254	0,3850	0,3742	0,4294	-

Dere yatağına ilişkin parametre sonuçları, üç ÇKKV yöntemi içinde en etkili parametrenin debi/akış kriteri (%22,82) olduğunu ortaya koymuştur. Bu parametreyi, hidrolojik model ile elde edilen sediment taşınımı (%15,19) ve erozyon biriktirme karakteri (%13,17) izlemektedir. Bunları, derenin morfolojik açıdan geometrisini etkileyen yeraltı suyu bağlantısı ve nehir içindeki yapay yapılar takip etmektedir.

Kıyı/kenar bölgesine ait alt kriterler nehir kenar materyali, kıyı bölgesindeki yapay yapılar ve bitki örtüsüdür. Uzmanların kıyı/kenar bölgesi alt kriterleri için yaptığı değerlendirmeler Tablo 4.11'de verilmektedir.

Tablo 4.11 Kıyı/kenar bölgesi alt kriterleri için ÇKKV sonuçları

Ağırlıklar (n = 45)					**Tutarlılık**
		Nehir kenar materyali	**Kıyı bölgesi yapay yapı**	**Kıyı bölgesi bitki örtüsü**	**oranı**
AHP	Ort.	0,2827	0,3794	0,3378	0,0361
	Min.	0,0567	0,0637	0,0567	0,0032
	Mak.	0,6689	0,7766	0,7766	0,0708
BWM	Ort.	0,2793	0,3629	0,3578	0,0265
	Min.	0,0667	0,0769	0,0667	0,0089
	Mak.	0,7000	0,7963	0,7963	0,0952
F-AHP	Ort.	0,2953	0,3764	0,3282	-
	Min.	0,0558	0,0643	0,0558	-
	Mak.	0,662	0,7807	0,7807	-

Kıyı/kenar bölgesi ana kriteri için nehir kenar materyali, yapay yapılar ve bitki örtüsü alt kriterlerinin etkileri dengeli olarak değerlendirilmiştir. Tutarlılık oranı değerleri için herhangi bir hatalı karşılaştırma olmadığı görülmektedir.

Taşkın bölgesi ana kriteri için bölgede yer alan yapay yapılar, bitki örtüsü ve sulak alanların mevcudiyetine ilişkin alt kriterleri kapsamaktadır. Uzmanların taşkın bölgesi alt kriterleri üzerine yaptıkları değerlendirmeler Tablo 4.12'de sunulmuştur.

Tablo 4.12 Taşkın bölgesi alt kriterleri için ÇKKV sonuçları

Ağırlıklar (n = 45)					**Tutarlılık oranı**
		Yapay yapı	**Bitki örtüsü**	**Sulak alan**	
AHP	Ort.	0,5613	0,2473	0,1914	0,0332
	Min.	0,0882	0,0567	0,0567	0,0031
	Mak.	0,7766	0,7235	0,7766	0,0709
BWM	Ort.	0,5585	0,2428	0,1987	0,0273
	Min.	0,1111	0,0625	0,0667	0,0089
	Mak.	0,7963	0,7403	0,7963	0,0833
F-AHP	Ort.	0,5639	0,2379	0,1982	-
	Min.	0,0898	0,0558	0,0558	-
	Mak.	0,7807	0,7273	0,7807	-

Üç ÇKKV yöntemi ile taşkın bölgesi ana kriteri altında yer alan, yapay yapıların varlığını izleyen kriter, yüksek öneme sahip olarak belirlenmiştir. Bitki örtüsü ve sulak alanlara ilişkin alt kriterler bunu izlemiştir.

Son ana kriter olarak belirlenen havzadaki değişikliklere ilişkin alt kriterlerin uzman görüşleri temel alınarak elde edilen bilgiler Tablo 4.13'te gösterilmektedir. Havza alt kriterine ilişkin sonuçlar incelendiğinde, belirli periyotlarda gerçekleşen arazi kullanımındaki değişikliklerin nehirlerin hidromorfolojisini doğrudan etkileyebileceği görülmektedir. Bu kritik parametreyi, morfometrik açıdan drenaj yoğunluğu ve hidrolojik açıdan akış sırası kriterleri izlemektedir. Öte yandan, havza sınırlarının genel şekilsel görünümünü tanımlayan kompaktlık katsayısı kriteri, uzmanlar tarafından en düşük baskınlığa sahip kriter olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 4.13 Havza alt kriterleri için ÇKKV sonuçları

Ağırlıklar (n = 45)						Tutarlılık oranı
		Arazi kullanımı	Akış sırası	Drenaj yoğunluğu	Kompaktlık katsayısı	
AHP	Ort.	0,4767	0,2148	0,2476	0,0609	0,0470
	Min.	0,0730	0,0857	0,1010	0,0388	0,0054
	Mak.	0,6427	0,5384	0,5579	0,2456	0,0979
BWM	Ort.	0,4922	0,2063	0,2280	0,0735	0,0209
	Min.	0,0813	0,0979	0,1102	0,0495	0,0129
	Mak.	0,6719	0,5496	0,5714	0,1789	0,0349
F-AHP	Ort.	0,4777	0,2138	0,2478	0,0607	-
	Min.	0,0736	0,0790	0,0981	0,0355	-
	Mak.	0,6479	0,5275	0,5571	0,2420	-

Tablo 4.7'de listelenen üç ÇKKV yöntemi arasında kriter düzeyindeki birincil ağırlık kümesi, toplam ağırlığı %100 olan ana kriterler için özdeğerleri temsil eden global ağırlık (Global weightage - GW) olarak adlandırılır. Her bir alt kriter için temel özdeğerler ilgili yerel ağırlığı (Local weightage - LW) belirlemek için normalleştirme işlemi yapılır. Normalleştirilmiş ağırlıklar, bir alt kritere ait LW değeri ile ilgili ana kriterdeki GW değerinin çarpılmasıyla elde edilmiştir. Ağırlıkların çarpımı ile her bir kriterin hidromorfolojik değişimdeki genel sırası belirlenir (Tablo 4.14). Su parametrelerine ait alt kriterler, ikinci düzey hiyerarşik sınıfta yer aldıkları için, normalleştirilmiş ağırlık değerleri, ilgili çarpım değerlerinin yarısı olarak hesaplanmıştır.

AHP, BWM ve F-AHP yöntemleri ile elde edilen normalize ağırlıklar ve ilgili genel sıralamalar için 28 parametre arasında en önemli kriter taşkın bölgesindeki yapay yapıların varlığıdır. Bunu ÇO, havzadaki arazi kullanımı, debi/akış, kıyı/kenar bölgelerindeki yapay yapılar, kıyı/kenar bitki örtüsünün sürekliliği, sudaki ağır metaller, taşkın bölgesindeki bitki örtüsü, nehir kenar materyali ve sudaki pH takip etmiştir. Sıralama tüm ÇKKV yöntemlerinde benzer bir eğilim göstermiştir. Taşkın bölgesindeki yapay yapıların en önemli kriter olarak belirlenmesi, Kail vd. [225] tarafından taşkın bölgesindeki arazi kullanımının nehrin hidromorfolojisi üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu iddiasını desteklemektedir. Havza sınırlarına ait genel şekilsel görünümünü veren kompaktlık katsayısı, laboratuvar ölçümleri ile elde edilen toprak alkali metal ve alkalinite değerleri, deredeki mendereslenme eğilimi, derenin geometrisi gibi parametreler ise uzmanlar tarafından en düşük baskınlığa sahip kriterler olarak tanımlanmıştır.

Tablo 4.14 ÇKKV yöntemlerinden hesaplanan normalize edilmiş ağırlıklar ve genel sıralamalar

Kriterler	AHP	BWM	F-AHP	AHP sıra	BWM sıra	F-AHP sıra
pH	0,0366	0,0369	0,0354	11	10	11
ÇO	0,0710	0,0709	0,0681	3	3	2
Eİ	0,0247	0,0250	0,0236	20	20	20
ORP	0,0192	0,0200	0,0185	23	23	23
Nutrientler	0,0345	0,0323	0,0319	12	14	15
Toprak alkali metal	0,0084	0,0107	0,0074	27	27	28
Ağır metaller	0,0449	0,0426	0,0439	7	8	8
Organik karbon	0,0323	0,0318	0,0316	16	15	16
Alkalinite	0,0111	0,0131	0,0110	26	26	26
AKM	0,0203	0,0224	0,0198	21	21	22
Nehir geometrisi	0,0178	0,0192	0,0184	24	24	24
Sediment	0,0342	0,0350	0,0381	14	12	10
Mendereslenme	0,0150	0,0177	0,0158	25	25	25
Nehir içi bitki örtüsü	0,0202	0,0222	0,0221	22	22	21
Erozyon/biriktirme karakteri	0,0308	0,0296	0,0327	17	17	14
Debi/akış	0,0530	0,0501	0,0582	4	5	4
Nehir içi yapay yapılar	0,0279	0,0287	0,0307	19	19	18
Yeraltı suyu bağlantısı	0,0286	0,0296	0,0316	18	18	17
Nehir kenar materyali	0,0383	0,0386	0,0440	10	9	7
Kıyı/kenar yapay yapılar	0,0514	0,0502	0,0560	5	4	5
Kıyı/kenar bitki örtüsü	0,0457	0,0495	0,0489	6	6	6
Taşkın yapay yapılar	0,1006	0,1004	0,1000	1	1	1
Taşkın bitki örtüsü	0,0443	0,0436	0,0422	8	7	9
Sulak alanlar	0,0343	0,0357	0,0352	13	11	12
Arazi kullanımı	0,0738	0,0709	0,0648	2	2	3
Akış sırası	0,0333	0,0297	0,0290	15	16	19
Drenaj yoğunluğu	0,0384	0,0329	0,0336	9	13	13
Kompaktlık katsayısı	0,0094	0,0106	0,0082	28	28	27
Toplam	1	1	1	-	-	-

4.7 İstatistiksel Karşılaştırma

Ana kriterler ve ilgili alt kriterlere ait ağırlık değerleri ile genel sıralamalar, matrisler ve vektör çiftlerine dayanarak AHP, BWM ve F-AHP yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Özellikle AHP ve F-AHP için kullanılan matris sayısı birbirleriyle aynı olup, her iki yöntem de ana kriterleri değerlendirmek amacıyla (5 × 5) boyutunda bir matris kullanmıştır. Diğer alt kriterler için [(4 × 4), (6 × 6), (8 × 8), (3 × 3), (3 × 3) ve (4 × 4)] boyutlarında altı matris kullanılmıştır. BWM yaklaşımında, ana kriterleri değerlendirmek için (1 × 5 ve 5 × 1) boyutlarında bir vektör çifti ve diğer alt kriterleri değerlendirmek için [(1 × 4 ve 4 × 1), (1 × 6 ve 6 × 1), (1 × 8 ve 8 × 1), (1 × 3 ve 3 × 1), (1 × 3 ve 3 × 1) ve (1 × 4 ve 4 × 1)] boyutlarında altı vektör çifti kullanılmıştır. Sonuç olarak, ana ve alt kriterlere ilişkin uzman görüşlerine dayalı olarak üç ÇKKV yöntemi için toplam 590 matris ve 295 vektör çifti incelenmiştir.

AHP ve BWM yöntemlerinde ana ve alt kriterlerin değerlendirmesi için toplamda 295 matris ve 295 çift vektör kullanılmıştır. Her iki yöntemde de MV ve TD değerlendirme kriterleri uygulanmış ve her yöntem için 295 örnek üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Öte yandan, F-AHP yöntemi, bulanık sayılar olan l (düşük), m (orta) ve u (yüksek) değerlerinin her bir değerlendirme kriteri için üç kez hesaplanmasını gerektirmiştir. Bu bulanık sayılarla ilişkili değerlerin ortalaması alınarak analiz için bir temel olarak kullanılmıştır. Değerlendirme kriterleri, öznel sonuçların etkisini azaltır ve yöntemlerin etkinliğinin nesnel bir değerlendirmesini sağlamıştır.

Üç yöntem arasında eşit düzeyde bir karşılaştırma yapılmasını sağlamak için ikili karşılaştırma değerlerindeki farklılıklar dikkate alınmıştır. Her üç yöntem için elde edilen MV ve TD değerleri, ilgili ikili karşılaştırma değerlerine bölünerek hesaplanmıştır. Üç ÇKKV yöntemine ait elde edilen değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığını belirlemek için öncelikle verilerin dağılımının normal olup olmadığı test edilmiştir. Pearson Ki-Kare uygunluk testi, Shapiro-Wilk testi, Kolmogorov-Smirnov testi ve Anderson-Darling testi gibi birçok normallik varsayımı testi bulunmaktadır. Bunlar arasından Shapiro-Wilk testi [226] kullanılmış ve üç ÇKKV yöntemi için MV ve TD değerlerinin normallik varsayımları incelenmiştir (Tablo 4.15).

Tüm sonuçlar için anlamlılık düzeyinin $p < 0{,}05$ olduğu göz önüne alındığında, sıfır hipotezi H_0 reddedilmektedir. Dolayısıyla, veri dağılımlarının normal dağılımdan istatistiksel olarak anlamlı bir sapma gösterdiği ve dağılımın normal olmadığı yargısına varılmaktadır.

Tablo 4.15 Üç ÇKKV yöntemi için MV ve TD değerlerinin normallik test sonuçları

Normallik testi (Shapiro-Wilk)				
		İstatistik	**N**	***p***
MV	AHP	,368	295	,000
	BWM	,267	295	,000
	F-AHP	,657	295	,000
TD	AHP	,821	295	,000
	BWM	,889	295	,000
	F-AHP	,737	295	,000

Veri dağılımları arasında normallik varsayımı olmadığından parametrik olmayan testler üzerinden bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Üç ÇKKV yöntemi arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıkların olup olmadığını tespit etmek için parametrik olmayan Friedman testi kullanılmıştır. Friedman testinin anlamlı çıkması halinde (p < ,05, p < ,01 veya p < ,001), post-hoc testler yani sonraki testler olarak Wilcoxon İşaretli Sıralar testi uygulanmış ve ÇKKV yöntemleri ikili karşılaştırmalara tabi tutulmuştur (Tablo 4.16 ve Tablo 4.17).

Tablo 4.16 Üç ÇKKV yöntemi için Friedman testi sonuçları

N = 295	**Friedman Test**	
	MV	**TD**
Ki-Kare	107,573	229,895
df	2	2
Anlamlılık düzeyi (*p*)	,000	,000

Friedman testinin üç ÇKKV yöntemiyle elde edilen değerlendirme kriterleri arasında anlamlı farklılıklar olduğunu gösterdiğini ve en az bir yöntemin diğerlerinden farklı olduğunu ortaya koymaktadır (MV için $\chi^2(2, 295) = 107,753, p < 0,001$; TD için $\chi^2(2, 295) = 229,895, p < 0,001$).

MV değerlendirme kriteri ile ilgili olarak, ikili Wilcoxon işaretli sıralama testleri, BWM ve AHP yöntemleri arasındaki karşılaştırma hariç, tüm ikili karşılaştırmalarda anlamlı farklılıklar göstermiştir. AHP ve BWM yöntemleri, kalan ikili karşılaştırmalarda F-AHP yöntemine kıyasla olumlu sonuçlar sergilemiştir (sırasıyla z = -7,408, p < ,05 ve z = -6,977, p < ,05). MV değerlendirme kriteri açısından AHP ve BWM yöntemleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir

Tablo 4.17 Üç ÇKKV yöntemi için İkili Wilcoxon işaretli sıralar test sonuçları

	MV			**TD**		
	BWM-AHP	**AHP-F-AHP**	**BWM-F-AHP**	**BWM-AHP**	**AHP-F-AHP**	**BWM-F-AHP**
Z	-1,317	-7,408	-6,977	-5,288	-14,756	-8,529
Anlamlılık düzeyi (p)	,188	,000	,000	,000	,000	,000

fark bulunmamıştır (z = -1,317, p = ,188). TD değerlendirme kriteri için elde edilen sonuçlar, tüm ikili karşılaştırmalarda istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olduğunu göstermiştir. BWM ile AHP yöntemleri arasındaki karşılaştırmada, BWM'nin lehine önemli bir fark (z = -5,288, p < ,05) bulunmuştur. Diğer yandan, F-AHP yöntemi ile yapılan karşılaştırmalarda, bu yöntemin aleyhine sonuçlar elde edilmiştir (sırasıyla z = -14,756, p < ,05 ve z = -8,529, p < ,05). Özellikle, BWM yöntemi, AHP ve F-AHP yöntemlerine göre daha az ikili karşılaştırma içermekte ve derlenen sınırlı sayıda uzman görüşü ile daha düşük bir TD değeri elde ederek, diğer yöntemlerin önüne geçmektedir.

MV ve TD değerlendirme kriterlerine göre üç ÇKKV yöntemi arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farkların (p değeri) tespit edilmesinin yanı sıra, bu anlamlı farkın bir etkisinin olup olmadığının ve bu etkinin boyutunun belirlenmesi de önemlidir. Her ne kadar p değeri bir etkinin varlığına işaret edebilse de etkinin büyüklüğü hakkında bilgi vermez. Bu konuyla ilgili olarak Pallant [227] Wilcoxon işaretli sıralar testinin etki büyüklüğünü (r), test istatistiğinin değerinin gözlem sayısının karekköüne ($Z/\sqrt{N}$) bölünmesiyle hesaplamaktadır. Tablo 4.18'de yer alan Üç ÇKKV yöntemi arasındaki etki büyüklükleri yukarıda belirtilen yöntem kullanılarak hesaplanmış ve Cohen'in [228] 0,1'i küçük etki, 0,3'ü orta etki ve 0,5'i büyük etki olarak tanımlayan sınıflandırma sistemi kullanılarak kategorize edilmiştir.

Tablo 4.18 Üç ÇKKV yöntemi için etki büyüklüğü sonuçları

	r – Etki büyüklüğü	
	MV	**TD**
BWM – AHP	–	0,32
AHP – F-AHP	0,43	0,86
BWM – F-AHP	0,41	0,51

MV değerlendirme kriterine göre yapılan analizler, AHP ve BWM yöntemlerinin

F-AHP yöntemine kıyasla orta düzeyde bir etki sergilediğini ortaya koymuştur. BWM ve AHP yöntemleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmediğinden, aralarında bir üstünlük bulunmamaktadır. Öte yandan, TD değerlendirme kriterine göre, BWM yöntemi AHP'ye kıyasla orta düzeyde bir etki göstermektedir. Her iki yöntem F-AHP yöntemine kıyasla büyük bir etki sergilemektedir.

5
BULGULAR VE TARTIŞMA

Hidromorfolojik değişim düzeyine etki eden kriterlerin değişimleri Tablo 4.6'da belirtilen ağırlıklara ve çalışma sahasından toplanan veriler üzerinden yapılan değerlendirmeler sonucunda karar verilen puanlamalara dayalı olarak belirlenmiştir. Ağırlıklar ilk olarak ana kriterler için belirlenmiş ve değerleri alt kriterlere devredilmiştir. Alt kriterler kendi içinde ağırlıklandırıldıktan sonra ana kriterlerden devralınan ağırlıklara bağlı olarak yeniden değerlendirilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan her bir alt kriterin ağırlığı ilgili dönem için kullanılan kriter sayısına bağlı olarak normalize edilmiş ağırlıktır. Her bir dönem için hidromorfolojik değişim düzeyi ilgili dönemin normalize edilmiş kriter ağırlıkları ile o kriter için karar verilen değişim düzeyi puanı çarpılarak hesaplanmıştır. Ağırlıklandırmada üç farklı ÇKKV yöntemi kullanıldığından bu üç yöntemden elde edilen sonuçlar ayrı ayrı sunularak tartışılmıştır. Bunun yanında, karşılaştırma yapılabilmesi adına tüm kriterler eşit ağırlıkta kabul edilerek elde edilen hidromorfolojik değişim analizi sonuçları da bir bulgu olarak değerlendirilmiş ve bu bölümde tartışılmıştır.

5.1 Su Kalitesi Kriterlerinin Değişim Düzeyleri

Su kalitesi kriterlerinin değişim düzeyleri, her bir erişim kolundaki su kalitesi ölçüm noktalarından toplanan ve laboratuvar analizleri ile elde edilen güncel verilere dayalı olarak tespit edilmiştir. Şekil 3.6'de gösterilen 18 noktadan toplanan veriler erişim kollarıyla ilişkilendirilmiş ve her bir su kalitesi parametresi için toplanan verilerin ortalaması alınarak "Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik" dokümanında belirtilen referans değerler ile karşılaştırılmıştır [174]. Bu sayede hidromorfolojik değişim yüzdelik değer olarak ifade edilebilmiştir (Tablo 5.1). Sonrasında değişim yüzdeleri beş basamaklı puanlama sistemine aktarılmıştır (Tablo 5.2). Tablo 4.6'da belirtilen puanlama sistemine karşılık gelen renkler kullanılmış ve sonraki tablolarda da bu renk dağılımı ile gösterim sağlanmıştır.

Tablo 5.1 Su kalitesi parametrelerindeki yüzdelik değişim

Erişim	pH	ÇO	Eİ	ORP	KOİ	BOİ	TOC	Alkalinite	AA	NA	AKM	TP	Fe	Zn	Cu	Pb	Na	Ca	Mg
1	23	1	52	34	8	-229	39	25	95	-25	-18	48	72	-433	93	-19	-34	22	7
2	25	11	59	44	-5	-333	37	30	96	21	-70	85	66	-493	93	-8	-4	25	5
3	28	9	74	28	47	-167	70	48	96	-2	7	94	83	-91	94	32	54	19	-15
4	25	19	70	28	36	0	65	44	95	-1	71	92	84	-66	95	9	42	-9	-21
5	27	9	54	38	35	-387	44	38	95	-7	19	52	81	-727	93	-13	-43	5	9
6	27	7	65	40	7	-211	53	39	96	8	-39	89	73	-232	96	-70	26	20	1
7	30	10	62	38	14	-174	54	34	96	8	-71	86	83	-222	95	-24	29	15	1
8	29	-54	61	-48	88	96	89	-677	95	16	92	100	60	-234	96	38	2	1	5
9,10,11	34	23	69	-37	69	78	78	-1162	92	-178	90	100	77	-286	98	14	41	14	-16
12	30	-4	63	22	49	61	65	-2541	94	-235	90	100	66	-253	94	19	20	12	-1
13	32	16	68	-1	68	81	73	-1316	94	-112	91	100	67	-207	94	8	37	12	6

KOİ: Kimyasal Oksijen İhtiyacı; BOİ: Biyolojik Oksijen İhtiyacı; TOC: Toplam Organik Karbon; AA: Amonyum Azotu; NA: Nitrat Azotu; TP: Toplam Fosfor; Fe: Demir; Zn: Çinko; Cu: Bakır; Pb: Kurşun; Na: Sodyum; Ca: Kalsiyum; Mg: Magnezyum

Tablo 5.2 Su kalitesi parametrelerine ilişkin puanlamalar

Erişim	pH	ÇO	Eİ	ORP	KOİ	BOİ	TOC	Alkalinite	AA	NA	AKM	TP	Fe	Zn	Cu	Pb	Na	Ca	Mg
1	3	1	4	3	2	1	4	3	5	1	1	4	4	1	5	1	1	3	2
2	3	2	4	4	1	1	4	4	5	3	1	5	4	1	5	1	1	3	2
3	3	2	4	3	4	1	4	4	5	1	2	5	5	1	5	3	4	3	1
4	3	3	4	3	4	1	4	4	4	1	4	5	5	1	5	2	4	1	1
5	3	2	4	4	4	1	4	4	5	1	3	4	5	1	5	1	1	1	2
6	3	2	4	4	2	1	4	4	5	2	1	5	4	1	5	1	3	3	1
7	3	2	4	4	2	1	4	3	5	2	1	5	5	1	5	1	3	3	1
8	3	4	4	1	5	5	5	1	5	3	5	5	4	1	5	4	1	1	2
9,10,11	3	3	4	1	4	5	5	1	5	1	5	5	5	1	5	3	4	2	1
12	3	1	4	3	4	4	4	1	5	1	5	5	4	1	5	3	3	2	1
13	3	3	4	1	4	5	4	1	5	1	5	5	4	1	5	2	4	2	2

KOİ: Kimyasal Oksijen İhtiyacı; BOİ: Biyolojik Oksijen İhtiyacı; TOC: Toplam Organik Karbon; AA: Amonyum Azotu; NA: Nitrat Azotu; TP: Toplam Fosfor; Fe: Demir; Zn: Çinko; Cu: Bakır; Pb: Kurşun; Na: Sodyum; Ca: Kalsiyum; Mg: Magnezyum

Benzer karaktere sahip su kalite parametrelerinin gruplandırılması ile oluşturulan değişim düzeyi puanları Tablo 5.3'te sunulmuştur. Burada nutrientler AA parametresinden, toprak alkali metaller kalsiyumdan, ağır metaller demir, bakır ve kurşundan ve organik karbon ise BOİ, KOİ ve TOC parametrelerinden türetilmiştir [162].

Tablo 5.3 Hidromorfolojik değişim için su kalitesi kriterlerinin puanlanması

Erişim	pH	ÇO	Eİ	ORP	Nutrientler	T. alkali metal	Ağır metal	Organik karbon	Alkalinite	AKM
1	3	1	4	3	3	2	3	2	3	1
2	3	2	4	4	4	2	3	2	3	1
3	3	2	4	3	4	2	4	3	4	2
4	3	3	4	3	4	2	3	3	4	4
5	3	2	4	4	3	1	3	3	4	3
6	3	2	4	4	4	2	3	2	4	1
7	3	2	4	4	4	2	3	3	4	1
8	3	4	4	1	4	1	4	5	1	5
9,10,11	3	3	4	1	4	2	4	5	1	5
12	3	1	4	3	4	2	3	4	1	5
13	3	3	4	1	4	3	3	4	1	5

Saz deresi üzerindeki veriler, kaynak noktalardan başlayıp Marmara Denizine kadar boşalan çok sayıda su numunesini kapsamaktadır. Diğer taraftan Çayırova deresinin kaynakları yoğun yapılaşmanın baskısı altındadır. Çayırova deresinin sadece Saz deresine bağlanan kollarında ölçüm yapılabildiğinden su kalitesi analiz sonuçları, Çayırova deresinin Saz deresine olan etkilerini ortaya koyma yeterliliğine sahiptir. Diğer taraftan, Çayırova deresinin su kaynakları için kalite analizleri çalışma kapsamında değerlendirilememiştir.

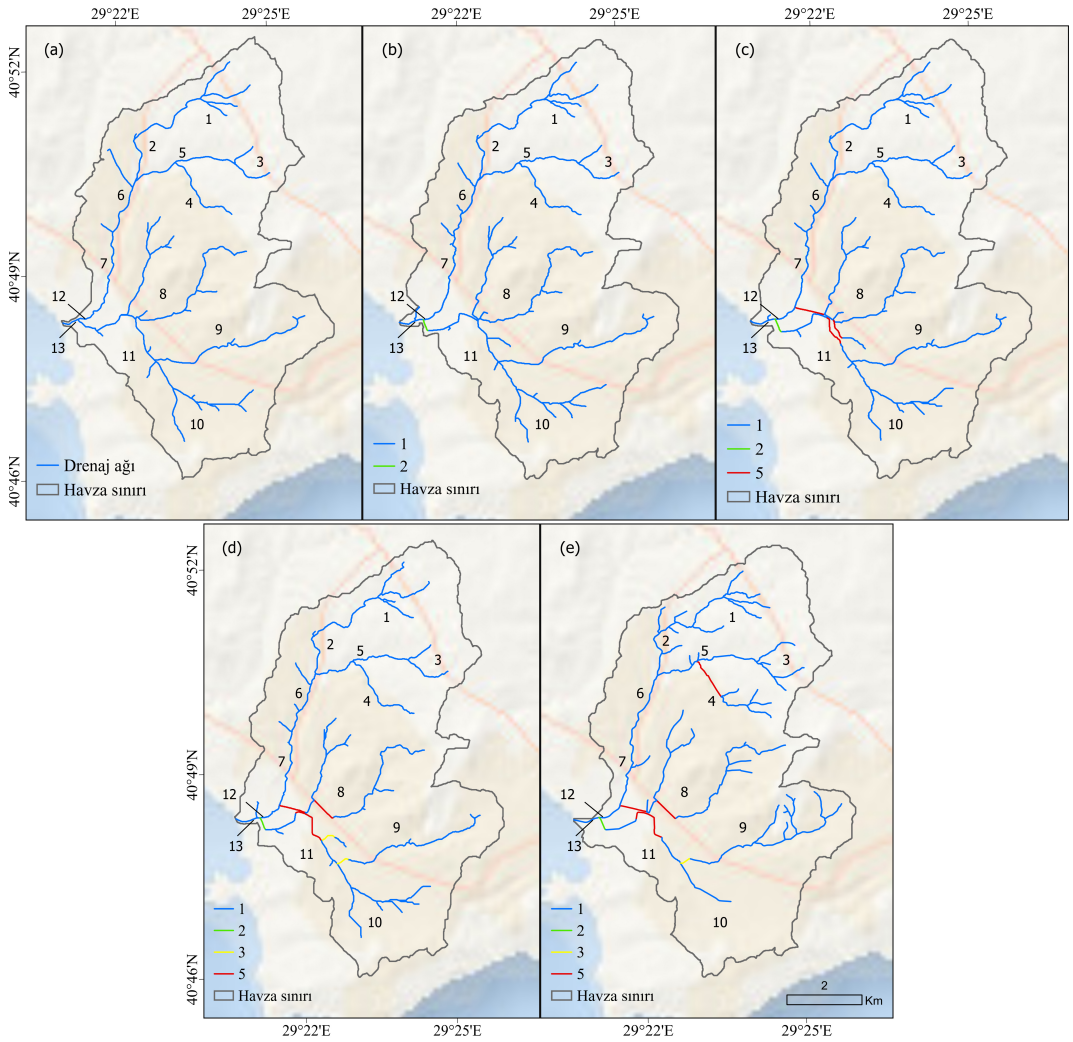
Şekil 3.8'de görünen Erişim-1 ve Erişim-3 kolları üzerindeki numune toplama noktaları Saz deresinin kaynaklarındaki su kalitesini ortaya koymaktadır. Erişim-1 üzerindeki bazı kollar TOSB atıksu arıtma tesisinin alıcı ortamındadır. TOSB 1980'lerden bu yana faaliyet göstermektedir ve son yıllarda hızla artan sanayileşme ile üretim kapasitesinde önemli bir artış olmuştur. Bu bölgede kalan kolların su kalitesi olumlu yönde etkilenmiştir. Erişim-3 kolları GOSB tarafından arıtılan atıksuların boşaltıldığı alıcı ortamları temsil etmektedir. Bu kollarda ortaya çıkan ağır metallerin yoğunluğu GOSB'un atıklarından kaynaklanmaktadır. Çayırova deresinin kollarında ise özellikle sanayi faaliyetlerinin yoğun olduğu alanlarda AKM değerlerinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 5.3). Ayrıca, organik karbon miktarı Çayırova kollarında yüksek seviyelerdedir (Vural Yurtsever, 2022).

Erişim-1 ve Erişim-3 haricindeki kollarda endüstri faaliyetleri daha seyrek yapıldığı için sanayi bazlı kirlenme daha düşüktür. Buna karşın özellikle yağışlı günlerde endüstri kuruluşlarının yaptığı kaçak deşarjların etkileri arazide gözlemlenmiştir. Erişim-6 kollarının bulunduğu bölgede hayvancılık ve seracılık faaliyetler yapılmaktadır. Bu nedenle Erişim-6 kollarında organik kirlilik gözlemlenmiştir. Havzanın çıkış noktası olan Erişim-13'de, Çayırova deresinin etkisiyle su kalitesinde önemli oranda düşüş gözlemlenmiştir (Tablo 5.3). Çayırova deresinden gelen kirlenmiş sular genel olarak atıksu niteliğindedir. Erişim-12 ve Erişim-13'ün ilgili kollarındaki kirlenme arazi gözlemleri ve sınır değerlerinin çok üzerinde olan BOİ, KOİ, TOC, AA ve TP sonuçlarıyla ortaya konulmuştur (Tablo 5.2).

Su kalite parametrelerine elde edilen veriler hidromorfolojik değişkenliğin Erişim-8 ve 12'de çok yoğun, sonrasında Erişim-9-10-11'de yoğun olduğunu ortaya koymuştur. Bu noktalar, Çayırova bölgesinde bulunan sanayi tesislerinden kaynaklanan yoğun antropojenik baskı altındadır [162].

5.2 Dere Yatağı Kriterlerinin Değişim Düzeyleri

Dere yatağı ana kriterine ait nehir geometrisi değişimi, 1957 yılından günümüze kadar olan ana kollardaki geometrik değişime bağlı olarak açıklanmıştır (Şekil 5.1). Mavi ile gösterilen kollarda geometrik değişim minimum düzeydedir. 1957 yılından 1976 yılına kadar Çayırova deresinin Saz deresine kavuştuğu yeşil ile gösterilen kısımda, yerleşimin gelişmesine bağlı olarak, az miktarda bir değişim gözlemlenmiştir. 1997 yılına ait verilerde Çayırova deresinde nehrin geometrisini etkileyen köklü değişimler olduğu görülmüştür. Özellikle Erişim-11 kollarından bazılarının bağlantıları inşa edilen kanal ile değiştirilmiş ve Erişim-8 üzerinde ikinci bir Saz-Çayırova bağlantısı oluşturulmuştur (Şekil 5.1c). 2005 yılında Çayırova kollarında yerleşimin artmasından kaynaklanan benzer değişimler görülmüştür. Günümüzde ise Saz deresinin Kuzey kısmında köklü bir değişim mevcuttur. 2006 yılındaki şiddetli yağışlar sonucunda meydana gelen sel felaketi, Saz Deresi'nin kuzeyindeki arazi topografyasının değişmesine ve sonrasında Erişim-4'te bulunan dere kolunun yeraltına alınmasına yol açmıştır (Şekil 5.1e). Geometrideki değişimlerin gerçekleştiği erişim kolları için değişim düzeyi puanlamaları Tablo 5.4'de sunulmuştur.



Şekil 5.1 Geometrik değişime uğrayan erişim kolları; (a) 1957, (b) 1976, (c) 1997, (d) 2005 ve (e) güncel

Tablo 5.4 Nehir geometrisi değişim düzeyleri

	Erişim												
Değişim Düzeyi Puanlama	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
1976	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1997	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	5	1	2
2005	1	1	1	1	1	1	1	5	3	1	5	1	2
Güncel	1	1	1	5	1	1	1	5	3	1	5	1	2

Hidromorfolojik değişimleri etkileyen temel süreçler olan ve dere yatağı ana kriterinin altında bulunan debi/akış, sediment taşınımı ve erozyon biriktirme karakteri gibi parametreler için değişim düzeyleri 1957 yılı referans alınarak analiz edilmiştir. Hidrolojik modelleme sonuçlarına göre, yıllık ortalama debi değerleri ve 1957 yılı referans alınarak hesaplanan yüzdelik değişimler Tablo 5.5'de sunulmuştur. Modelleme sonucu debi kriterine ait değişimler, kaynaktan denize dökülen alana doğru artış göstermiştir. Çayırova deresinde yer alan Erişim-8, 9, 10 ve 11 için, 1957 ile 1976 yılları arasındaki değişimler yüksek ve aşırı düzeydedir. Buna karşın, Saz ve Çayırova derelerinin bağlantılarını oluşturan Erişim 12 ve Erişim 13'teki değişim düşük düzeyde iken, 1990'lı yıllar itibari ile yüksek değişime doğru bir artış olmuştur. Bu durum 1970'lerden itibaren Çayırova'da kentsel baskının belirgin şekilde artmasına ve endüstriyel deşarjlardan artış göstermesine dayanmaktadır.

Tablo 5.5 Debi değerlerine ait değişim düzeyleri

Erişim	Değişim (%)				Değişim Düzeyi Puanlama			
	1976	1997	2005	Güncel	1976	1997	2005	Güncel
1	8,6	5,4	15,1	16,3	2	2	3	3
2	7,9	11,3	17,2	31,3	2	2	3	3
3	1,8	4,8	22,0	37,6	1	1	3	4
4	9,0	17,2	19,3	28,0	2	3	3	3
5	1,2	3,2	15,5	29,3	1	1	3	3
6	5,3	10,9	19,4	38,7	2	2	3	4
7	5,7	8,6	16,7	39,3	2	2	3	4
8	38,3	69,6	69,6	54,8	4	4	4	4
9	100,0	100,0	100,0	100,0	5	5	5	5
10	100,0	100,0	100,0	100,0	5	5	5	5
11	96,6	97,0	93,3	90,7	5	5	5	5
12	18,8	38,0	43,1	48,0	3	4	4	4
13	8,1	17,3	32,7	40,0	2	3	3	4

Erişim-1, 2, 3 ve 5 için debi değişim düzeyleri birbirine oldukça yakındır. Bunlar Saz deresi havzasının kuzeyini temsil eder ve günümüzde TOSB'un deşarj baskısı altındaki bölgelerdir. Özellikle Erişim-3 ve Erişim-5, Saz deresinin görece güney bölgelerini temsil eder ve bu iki nokta arasındaki akış dinamikleri birbirlerini doğrudan etkilemektedir. Erişim-3'ün Erişim-5'ten ana farkı, 1957'den 2018'e kadar gözlemlenen yüksek derecede değişimdir. Bu durum, GOSB'den yapılan deşarjların doğrudan Erişim-3 kollarına etki etmesinden kaynaklanmaktadır.

Ayrıca, Erişim-6 ve Erişim-7'deki değişimlerin benzerliği, oluşturulan modelin entegre debi ve akış hesaplarının tutarlılığını kanıtlamaktadır. Diğer erişim kollarında Çayırova deresi ve çevresindeki yağışlar ile endüstriyel deşarjlardan kaynaklı aşırı değişimler olduğu belirlenmiştir.

Oluşturulan hidrolojik model üzerinden elde edilen sediment taşınım değerleri, havza genelinde geçmişten günümüze taşınımın azaldığını göstermektedir (Tablo 5.6). Bu azalma debide gözlemlenen düşüş ile ilişkilidir. Özellikle Saz-Çayırova deresinin denize döküldüğü bölgeyi temsil eden Erişim-13 kolundaki değişim oldukça yüksektir. 2018 yılında Marmara Denizi'ne 188,73 mg/L sediment taşınmışken, 1957 yılında bu değer 308,69 mg/L olarak modellenmiştir. Bu önemli değişimin temel nedenleri; havza genelinde arazi kullanımının değişmesi ve yağış-akış rejimindeki görece yüksek farklardır.

Tablo 5.6 Sediment taşınımı değerlerine ait değişim düzeyleri

Erişim	Yüzdelik Değişim (%)				Değişim Düzeyi Skorlama			
	1976	1997	2005	Güncel	1976	1997	2005	Güncel
1	3,1	31,0	47,6	63,4	1	3	4	4
2	1,9	12,2	26,7	45,8	1	2	3	4
3	5,2	11,8	21,6	30,6	2	2	3	3
4	8,5	17,0	28,2	33,1	2	3	3	3
5	3,3	12,5	24,2	31,6	1	2	3	3
6	9,7	14,4	30,2	39,7	2	2	3	4
7	5,2	9,6	21,4	43,5	2	2	3	4
8	38,0	77,0	79,7	61,1	4	5	5	4
9	79,0	73,8	57,8	1141,2	5	4	4	5
10	79,0	73,8	57,8	1141,2	5	4	4	5
11	79,0	73,8	57,8	1141,2	5	4	4	5
12	28,1	53,6	60,5	56,4	3	4	4	4
13	7,2	29,5	45,0	63,6	2	3	4	4

Hidrolojik model, erozyon biriktirme karakterinin debi ve sediment taşınımı gibi, geçmişten günümüze azalma eğiliminde olduğunu ortaya koymaktadır (Tablo 5.7). Bu azalış, diğer iki sürece göre daha dikkat çekici boyutlardadır. Özellikle, Kocaeli ilindeki GOSB ve TOSB'a yakın olan Erişim-1 ve Erişim-3 kollarında geçmişten günümüze aşırı derecede değişimler kaydedilmiştir. Erişim-1'de 1957'den günümüze, sırasıyla, 3,65 ton/ha.yıl ve 1,96 ton/ha.yıl oranlarında toprak kaybı hesaplanmıştır. Erişim-3'de ise, aynı dönemde 8,11 ton/ha.yıl ve 4,42

ton/ha.yıl oranında toprak kaybı görülmüştür. Kentleşme etkilerinin ağır bastığı Erişim-4 ve Erişim-12 gibi noktalarda da benzer bir durum söz konusudur. Bu bölgelerde toprak yüzeyinin yaklaşık %90'ı betonla kaplanmış ve bu durum erozyon ve sedimentasyon dinamiklerini önemli ölçüde etkilemiştir. Hidrolojik model sonuçları, havzanın erozyon biriktirme karakteri değerlerinin, kentleşme ve endüstrileşmenin yoğun olduğu bölgelerde aşırı değiştiğini ortaya koymuştur.

Tablo 5.7 Erozyon biriktirme karakteri değerlerine ait değişim düzeyleri

Erişim	Yüzdelik Değişim (%)				Değişim Düzeyi Skorlama			
	1976	1997	2005	Güncel	1976	1997	2005	Güncel
1	12,9	18,7	70,3	85,9	2	3	4	5
2	2,1	16,5	25,3	60,4	1	3	3	4
3	6,2	16,2	30,2	83,5	2	3	3	5
4	12,6	27,6	69,6	80,3	2	3	4	5
5	2,7	8,1	24,5	28,5	1	2	3	3
6	7,0	22,6	47,4	40,0	2	3	4	4
7	2,9	11,9	18,8	15,3	1	2	3	3
8	0,2	72,7	73,3	80,2	1	4	4	5
9	5,0	61,3	68,4	99,1	1	4	4	5
10	5,0	61,3	68,4	99,1	1	4	4	5
11	5,0	61,3	68,4	99,1	1	4	4	5
12	3,2	51,0	66,8	93,3	1	4	4	5
13	3,5	20,4	60,9	73,1	1	3	4	4

Dere yatağı ana kriteri altındaki nehir içi bitki örtüsü, yapay yapılar, dere yatağının mendereslenme eğilimi ve yeraltı suyu bağlantıları gibi kriterlerin referans düzeyleri, arazi çalışmaları sırasında yapılan gözlemler, modelleme ile elde edilen veriler ve Saz-Çayırova deresini 1960 - 1980 yılları arasında gözlemleme şansına sahip olmuş iki uzmanın görüşleri üzerinden şekillendirilmiştir. Uzmanlar belirtilen tarih aralığında dere yataklarında birkaç küçük köprü dışında herhangi bir yapay yapının olmadığını söylemiştir. İlgili dönemde dere yatağında herhangi bir ıslah çalışmasının yapıldığına dair resmi bir veriye de ulaşılamamıştır. 1957 yılı için oluşturulan SAM da bu bilgiler ile paralellik göstermektedir. Uzmanlar ayrıca dere yapısının mendereslenmeye elverişli olmadığı yönünde görüş bildirmiştir. Bu kriter için mekânsal veri kaynaklarından da bir kanıt elde edilememiştir. Bu nedenle hidromorfolojik kriterlerden biri olan mendereslenme eğilimi yönünde bir değerlendirme yapılmamasına karar verilmiştir.

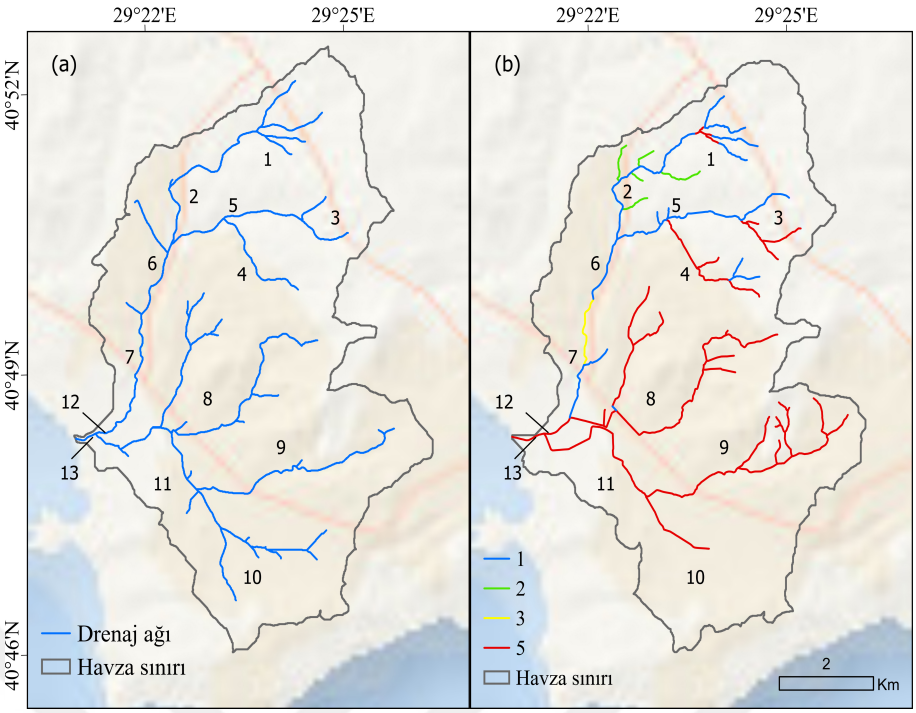
Nehir içi bitki örtüsü ve yapay yapılara ait süreçlerin değişim düzeylerine havzanın bulunduğu coğrafya da araştırma yapan uzmanların görüşleri, proje ekibinin gözlemsel yorumlamaları alınarak karar verilmiştir. Bu bağlamda günümüzde derelerin kaynağından denize döküldüğü alana doğru bu iki kriterin önemli ölçüde değiştiği anlaşılmıştır (Tablo 5.8).

Tablo 5.8 Nehir içi bitki örtüsü ve yapay yapılar kriterleri için değişim düzeyleri

Erişim	Değişim Düzeyi Güncel Puanlama	
	Nehir içi Bitki Örtüsü	Yapay Yapılar
1	4	3
2	3	5
3	4	4
4	5	5
5	3	3
6	3	5
7	4	5
8	5	5
9	5	5
10	5	5
11	5	5
12	5	5
13	5	5

Uzman görüşleri 1960'lı yıllarda yeraltı su bağlantısını etkileyecek yapıların o yıllarda inşa edilmemiş olduğu yönündedir. Yeraltı suyu bağlantısına ilişkin güncel değişimler ise günümüze gelinceye kadar ıslahı yapılan dere kolları incelenerek saptanmıştır (Şekil 5.2). Islah edilen ve üzerinde yapay müdahaleler yapılmış olan kolların yeraltı suyu bağlantıları kesilmiş kabul edilmiştir.

Günümüzde Çayırova deresinin kırmızı renk ile gösterilen tüm kolları köklü bir değişim altındadır. İnsan etkisinin olmadığı herhangi bir dere kolu neredeyse kalmamıştır (Şekil 5.2b). Diğer taraftan Saz deresi üzerinde müdahaleler çok fazla değildir. Bu derenin kuzeyinde sanayi kuruluşlarının bölgeye gelmesi ile birlikte bazı ıslah çalışmaları yapılmıştır. Derenin sarı renk ile gösterilen orta bölgelerinde ise taşkınları önlemek için bazı küçük müdahaleler olmuştur. İki derenin birleştiği denize dökülen kısım ise tamamen ıslah edilmiştir. Bu kapsamda, gerçekleştirilen müdahalelere bağlı olarak yeraltı suyu bağlantılarının bozulduğu erişim kolları ve diğerleri için yapılan değerlendirmeler Tablo 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.2 1957 yılından günümüze derede ıslahı yapılan ve müdahale edilen kollar

Tablo 5.9 Yeraltı suyu bağlantısı kriteri için değişim düzeyleri

Erişim	Değişim Düzeyi Güncel Puanlama
1	5
2	2
3	5
4	5
5	1
6	1
7	3
8	5
9	5
10	5
11	5
12	5
13	5

5.3 Taşkın Bölgesi Kriterlerinin Değişim Düzeyleri

Taşkın bölgesi ana grubuna ait yapay yapılar, bitki örtüsü ve sulak alanların değişimleri erişim kolları boyunca incelenmiştir. Yapay yapılara ait değişimler Bölüm 3'de detaylı olarak açıklanan arazi kullanım verilerinden çıkarılmıştır. Bunun için CORINE sınıflandırma sisteminin Seviye-1 hiyerarşisinde bulunan veriler ile Saz-Çayırova dereleri boyunca türetilen taşkın bölgesi sınırları çakıştırılmıştır. Böylece yapay yapı alanları 1957 yılından gününüze gelinceye kadar kademeli olarak incelenebilmiştir (Tablo 5.10). Hesaplanan arazi kullanım değişim yüzdeleri Tablo 4.6'da yer alan eşik değerler üzerinden puanlanmıştır.

Saz-Çayırova derelerinin bulunduğu havza Marmara Denizine yakın ve nispeten düz bir topografyaya sahiptir. Referans düzeyi gösteren 1957 yılında Marmara kıyılarında az sayıda yol, bina ve endüstriyel tesis mevcuttur ve yapılaşman oldukça sınırlıdır. Bu tarihte, bölgedeki yapılar, toplam alanın yaklaşık %1,3'ünü oluşturmaktadır (Tablo 5.10). 1976 yılına gelindiğinde Saz-Çayırova derelerinin denize yakın kısımlarında az ve orta düzeyde değişimler başlamıştır. Çayırova deresinde, Erişim 8 ve Erişim 11 kollarının bulunduğu kısımda, kentleşmenin başlamış ve taşkın sınırları içindeki yapay yapıların sayıları hızla artmıştır. 1997 yılında, sanayinin ve yerleşimin etkileri radikal şekilde ortaya çıkmıştır. Yerleşim ve endüstriyel alanlar Çayırova dere kollarının tamamını ve Saz deresinin orta kısımlarındaki taşkın sınırlarını kaplamıştır. 2005 yılında, Saz deresinin kuzeyinde sanayi bölgelerinin kurulması dış etkilerin artmasına sebep olmuştur. Günümüzde taşkın bölgesindeki değişimin düşük olduğu alanlar sadece Saz deresinin orta ve kuzeyindeki Erişim-2 ve Erişim-5'in bulunduğu bölge ile sınırlıdır.

Erişim kollarının etrafında oluşturulan taşkın bölgeleri için doğal bitki örtüsü miktarının değişimi yapay yapılar için gerçekleştirilen analize benzer yöntem kullanılarak incelenmiştir. CORINE sınıflandırma sisteminin Seviye-1 hiyerarşisinde tutulan orman ve yarı doğal alanlara ait veriler ile Saz-Çayırova derelerinin türetilen taşkın bölgesi sınırları çakıştırıldığında elde edilen doğal alanlar 1957 yılından gününüze kademeli olarak incelenmiştir. Yapay yapılardaki incelemenin aksine doğal alanlardaki azalış değişimi tetiklediğinden bu tablodaki puanlar yapay yapıların tersi şekilde işletilmiştir. Bölgenin doğal bitki örtüsü miktarındaki azalış dikkate alındığında değişimler Tablo 5.11'de verildiği gibi puanlanmıştır.

Genel olarak 1957 yılından günümüze Saz deresinin iki kaynak noktası ve çevresindeki Erişim-1, 2, 3, 4 ve 5'in bulunduğu alanlarda bitki örtüsünün sürekliliği genel olarak korunmuştur. Bu durum orta derecede bir değişimi işaret etmektedir. Çayırova deresi ve Saz deresinin Erişim 6 ve 7 kollarında taşkın sınırları

Tablo 5.10 Taşkın bölgesindeki yapay yapılar kriteri için değişim düzeyleri

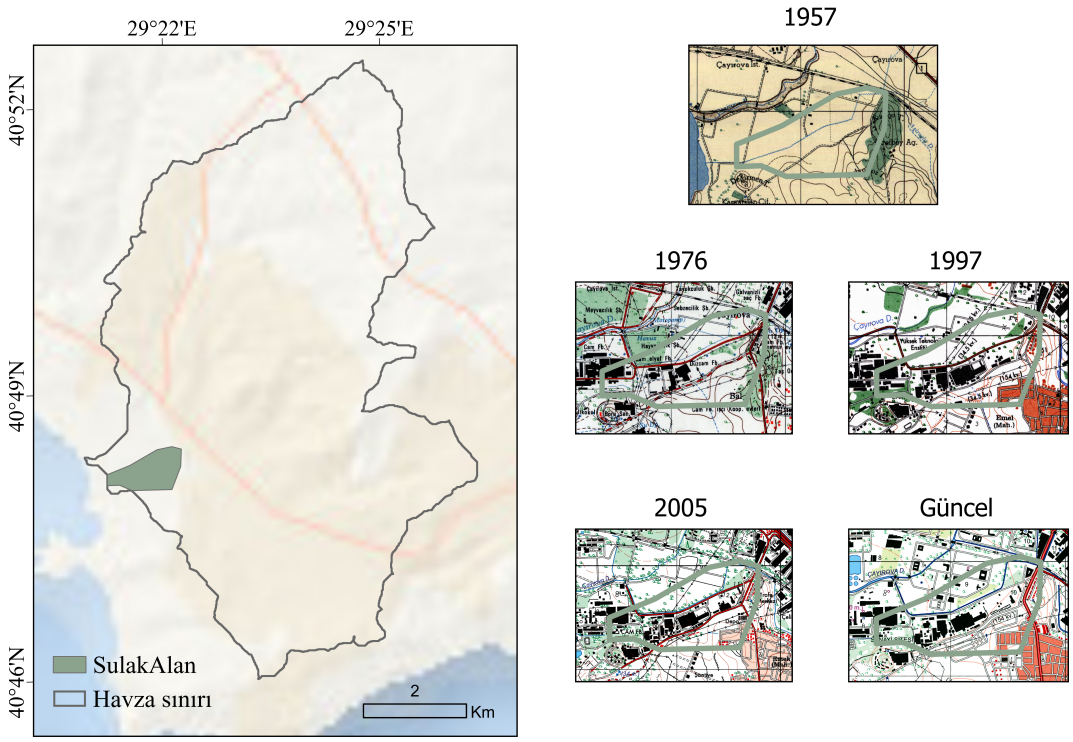
Erişim	Değişim (%)					Değişim Düzeyi Puanlama				
	1957	1976	1997	2005	Güncel	1957	1976	1997	2005	Güncel
1	0,0	0,3	9,1	74,9	73,7	1	1	2	4	4
2	0,0	0,3	4,4	8,4	30,4	1	1	1	2	3
3	0,0	4,0	7,5	65,2	68,2	1	1	2	4	4
4	0,0	4,3	6,6	29,5	76,1	1	1	2	3	5
5	0,0	0,0	3,9	32,6	33,9	1	1	1	3	3
6	0,0	0,0	75,2	78,9	80,2	1	1	5	5	5
7	0,6	5,5	73,2	75,6	73,1	1	1	4	4	4
8	0,3	17,5	96,7	97,0	98,7	1	3	5	5	5
9	0,6	7,4	94,0	94,8	92,1	1	2	5	5	5
10	0,3	2,0	97,6	97,5	98,9	1	1	5	5	5
11	0,5	39,4	80,7	85,5	91,1	1	4	5	5	5
12	1,3	12,7	27,1	52,0	52,3	1	2	3	4	4
13	0,2	10,5	7,9	56,8	58,4	1	2	2	4	4

Tablo 5.11 Taşkın bölgesindeki bitki örtüsü kriteri için değişim düzeyleri

Erişim	Değişim (%)					Değişim Düzeyi Puanlama				
	1957	1976	1997	2005	Güncel	1957	1976	1997	2005	Güncel
1	92,3	88,4	89,6	78,7	77,1	1	1	1	2	3
2	92,8	93,9	92,7	94,7	90,2	1	1	1	1	1
3	100,0	100,0	95,7	70,3	68,1	1	1	1	3	3
4	100,0	100,0	95,5	91,7	88,6	1	1	1	2	2
5	100,0	100,0	95,6	87,2	85,3	1	1	1	2	2
6	93,3	92,9	28,6	27,0	13,1	1	1	4	4	5
7	96,1	36,3	21,5	22,6	25,5	1	4	4	4	4
8	91,9	44,5	19,4	16,5	4,1	1	4	4	5	5
9	96,5	91,1	11,0	8,6	3,6	1	2	5	5	5
10	97,0	94,8	11,0	6,4	4,8	1	1	5	5	5
11	96,4	26,7	26,8	20,2	14,3	1	4	4	5	5
12	82,9	32,7	47,7	46,0	45,6	1	4	4	4	4
13	96,4	26,7	26,8	20,2	14,3	1	4	4	5	5

içerisindeki bitki örtüsü yerini yapısal alanlara bırakmış ve aşırı derecede değişimler gözlemlenmiştir.

Taşkın bölgesi içinde kalan sulak alanlar kriterleri için referans düzeyler, EN 14614, EN 15843 standart dokümanlar, proje ekibinde bulunan danışman ve araştırmacıların görüşleri ve 1957 tarihli topografik veri kaynağındaki harita bilgileri üzerinden değerlendirilmiştir. Derenin denize döküldüğü Erişim-11 ve Erişim-13'ün bulunduğu bölgelerde yer yer sulak alanlar mevcuttur. Bunların alüvyal sahil bataklıkları ile benzer özellikler gösteren kısımlar olduğu düşünülmektedir (Şekil 5.3). Fakat bölgenin önemli bir sulak alan potansiyeline sahip olduğunu gösterir biyolojik çeşitliliğe ve ekolojik özelliklere ilişkin veriler mevcut değildir.



Şekil 5.3 Referans düzeyde görünen sulak bölgedeki değişim

Erişim-11 ve Erişim-13 sınırları içerisinde kalan bölgelerde 1957 yılına ait standart topografik haritada görünen alüvyal sahil bataklıkları, sonraki süreçte gerçekleştirilen yapısal müdahaleler ile ortadan kalkmıştır. Bu kapsamda ilgili iki bölge için değişim miktarı Tablo 5.12'de verildiği şekilde ifade edilmiştir.

Tablo 5.12 Sulak alan kriteri için değişim düzeyleri

Erişim	Değişim Düzeyi Puanlama				
	1957	1976	1997	2005	Güncel
11	1	4	4	5	5
13	1	4	4	5	5

5.4 Havza Kriterlerinin Değişim Düzeyleri

Çalışma havzasının genelinde arazi kullanımında, dere kollarının akış sıralamalarında, drenaj yoğunluğunda ve kompaktlık katsayısında olan değişimler 1957 yılından günümüze gelinceye kadar kademeli olarak incelenmiştir. CORINE sınıflandırma sistemi Seviye-1 hiyerarşisi kullanılarak Çayırova-Saz havzasının arazi kullanımı, yapay bölgeler, tarımsal alanlar ve orman ile yarı doğal alanların değişim miktarları şeklinde Tablo 5.13'te yüzdesel olarak verilmiştir. Arazi kullanımlarının değişim düzeyine, Tablo 4.6'daki eşik değerler üzerinden karar verilmiştir. Sonrasında ortalama değişim puanları hesaplanmıştır.

Tablo 5.13 Arazi kullanım kriterine ait değişim düzeyleri

CORİNE Seviye-1	Kullanım Alanı Oranı (%)					Değişim (%)				Değişim Düzeyi Puanlama				
	1957	1976	1997	2005	Güncel	1976	1997	2005	Güncel	1957	1976	1997	2005	Güncel
Yapay Bölgeler	7,3	38,2	73,3	89,5	91,0	30,9	66,0	82,2	83,7	1	3	4	5	5
Tarımsal Alanlar	18,4	11,9	2,6	0,0	0,0	6,5	15,8	18,4	18,4	1	2	3	3	3
Orman ve Yarı Doğal Alanlar	74,3	49,8	24,1	10,5	9,0	24,4	50,2	63,7	65,3	1	3	4	4	4
Ortalama Değişim	-	-	-	-	-	20,6	44,0	54,7	55,8	1	3	4	4	4

Havza temelli kriterlerden bir diğeri olan akış sırası parametresinin değişim düzeyi referans düzey olarak kabul edilen akış sırası bilgilerinin dönemsel değişikliklerine bakılarak incelenmiştir. Bölüm 3'te yer alan akış sıraları ve uzunluklarına ait bilgiler Saz-Çayırova derelerini kapsayan havzanın halen 4'lü sıralamaya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu kollar için değişim düzeyleri ilgili akış sırasına ait verilerin toplam uzunlukları üzerinden hesaplanmıştır (Tablo 5.14). Özellikle 2. ve 4. derece akış sırasına sahip dere kollarının uzunluğundaki artış 1957 yılından günümüze orta derecede bir değişim olduğunun göstergesi kabul edilmiştir.

Tablo 5.14 Akış sırası kriterine ait değişim düzeyleri

Akış	**Değişim (%)**				**Değişim Düzeyi Puanlama**				
Sırası	**1976**	**1997**	**2005**	**Güncel**	**1957**	**1976**	**1997**	**2005**	**Güncel**
1	7,7	6,1	5,1	14,6	1	2	2	2	1
2	4,1	6,6	6,2	24,9	1	1	2	2	3
3	4,5	5,0	12,2	7,1	1	1	1	2	2
4	25,1	44,1	40,1	61,6	1	3	4	4	4
Ortalama Değişim	10,3	15,4	15,9	27,1	1	2	3	3	3

Havza temelli bir diğer parametre drenaj yoğunluğudur. Bu parametrenin referans düzeyi 1957 yılı için hesaplanan 2,889'luk drenaj yoğunluk değeridir. Buna göre dönemsel olarak hesaplanan yoğunluk değerlerinin yüzdelik değişimleri ve kabul edilen değişim puanları Tablo 5.15'te verilmiştir.

Tablo 5.15 Drenaj yoğunluğu kriterine ait değişim düzeyleri

	1976	**1997**	**2005**	**Güncel**
Drenaj Yoğunluğu	2,1439	1,7000	0,7067	0,7083
Değişim (%)	25,8	41,2	75,5	75,5
Değişim Düzeyi Puanlama	3	4	5	5

Havza temelli kompaktlık katsayısı, 1957 yılında belirlenen 1,915 referans değeri üzerinden çıkarılmıştır. Dönemsel değişimlerin yüzdelik hesapları üzerinden kabul edilen değişim miktarları Tablo 5.16'da verilmiştir. Drenaj yoğunluğunun yüksek derecede değişimine karşın kompaktlık katsayısının değişmemesi havza içinde yapısal olarak çok fazla müdahale olmasına karşın havzanın genel morfolojik yapısının değiştirilmediğini göstermektedir.

Tablo 5.16 Kompaktlık katsayısı kriterine ait değişim düzeyleri

	1976	1997	2005	Güncel
Kompaktlık Katsayısı	1,9237	1,9100	1,8719	1,9196
Değişim (%)	0,48	0,42	2,28	0,27
Değişim Düzeyi Puanlama	1	1	1	1

5.5 Kıyı/Kenar Bölgesi Kriterlerinin Değişim Düzeyleri

Kıyı/kenar bölgesi ana grubuna ait nehir kenar materyali, yapay yapılar ve bitki örtüsü alanlarının değişimleri erişim kolları boyunca incelenmiştir. Nehir kenar materyallerine ilişkin değişim düzeyleri, havzanın bulunduğu coğrafyada araştırmalar yapan uzmanların görüşleri ve proje ekibinin gözlemsel yorumları dikkate alınarak oluşturulmuştur. Genel olarak, memba bölgesinden mansap bölgesine doğru ilerledikçe, bu süreçte bir artış eğilimi gözlemlenmiştir (Tablo 5.17). Dere kollarına yakın kısımlarda kıyı kenar materyalinin dere tarafından taşınıp depolanan unsurlardan oluştuğu gözlemlenmiştir. Dere kenarlarında ıslah edilmemiş kısımlardan alınan toprak örnekleri bu bilgiyi doğrular niteliktedir.

Tablo 5.17 Nehir kenar materyali kriteri için değişim düzeyleri

	Değişim Düzeyi Güncel Puanlama
Erişim	**Nehir Kenar Materyali**
1	5
2	2
3	4
4	5
5	4
6	1
7	5
8	5
9	5
10	5
11	5
12	5
13	5

Kıyı/kenar bölgelerindeki yapay yapılara ait değişim düzeyleri, taşkın bölgesi için kullanılan metodolojiyle hesaplanmıştır. CORINE sınıflandırma sisteminin Seviye-1 hiyerarşisinde yer alan veriler derelerin türetilen kıyı/kenar sınırlarıyla

çakıştırılarak analiz edilmiştir. 1957 yılından günümüze kadar yapay yapıların alanları kademeli olarak gözlemlenmiştir. Referans olarak kabul edilen 1957 tarihinde yapay yapılar kıyı/kenar sınırlarının en fazla %1'ni oluşturmaktadır (Tablo 5.18). 1976 yılına kadar çalışma bölgesindeki denize yakın bölgelerde az ve orta düzeyde değişimler gözlemlenmiştir. 1997 yılına gelindiğinde ise sanayileşme ve yerleşim alanlarının genişlemesiyle köklü değişimler oluşmuştur. 2005 yılına kadar bu dış etkilerin arttığı gözlenmiş ve günümüze gelindiğinde etkilerin hala devam ettiği belirlenmiştir. Saz deresinin orta ve kuzey bölgesinde yer alan Erişim-4, 6 ve 7 kolları haricindeki erişim bölgelerinde değişim düşüktür. Çayırova deresinin kıyı/kenar bölgelerindeki değişimler çok daha radikal bir seviyeye ulaşmış ve doğal görünümlü bir dere kıyısı kalmamıştır. Kıyı/kenar bölgesi değişim düzeyi puanlamaları taşkın bölgesi için hesaplanan değerler ile benzerlik göstermektedir.

Tablo 5.18 Kıyı/kenar bölgesindeki yapay yapılar kriteri için değişim düzeyleri

Erişim	Değişim (%)					Değişim Düzeyi Puanlama				
	1957	1976	1997	2005	Güncel	1957	1976	1997	2005	Güncel
1	0,0	0,0	2,4	19,4	25,5	1	1	1	3	3
2	0,0	0,3	3,2	4,8	9,6	1	1	1	1	2
3	0,0	0,0	7,6	17,9	18,3	1	1	2	3	3
4	0,0	1,8	4,1	14,8	68,1	1	1	1	2	4
5	0,0	0,0	5,7	10,8	10,9	1	1	2	2	2
6	0,0	0,0	89,3	82,5	83,7	1	1	5	5	5
7	0,7	2,9	75,3	73,8	81,7	1	1	4	4	5
8	0,5	18,5	90,5	94,9	97,2	1	3	5	5	5
9	0,9	2,5	94,1	92,9	98,0	1	1	5	5	5
10	0,0	0,6	74,2	91,5	98,2	1	1	4	5	5
11	0,5	26,6	73,8	74,9	81,5	1	3	4	4	5
12	0,0	6,4	27,1	52,0	57,8	1	2	3	4	4
13	0,2	5,5	7,9	56,8	70,5	1	2	2	4	4

Arazi kullanımında orman ve yarı doğal alanlar olarak görünen veriler ile derelerden türetilen kıyı/kenar sınırları çakıştırılarak bölgenin doğal yapısı incelenmiştir. Taşkın sınırları için uygulanan yönteme paralel olarak bitki örtüsü sürekliliği miktarındaki azalış yüzdesi hesaplanmıştır (Tablo 5.19). Referans düzeyi gösteren 1957 yılında Saz-Çayırova dereleri kıyıları yüksek doğallığa sahiptir. 1976 yılına gelindiğinde derelerin denize yakın kısımlarında doğal alanlar azalmaya başlamıştır. 1997 yılında Çayırova deresi kıyı/kenarlarında yüksek oranda bitki örtüsü tahrip edilmiştir. 2005 yılından günümüze kadarki süreçte bitki örtüsünde tahribat stabil durumdadır.

Tablo 5.19 Kıyı/kenar bölgesindeki bitki örtüsü kriteri için değişim düzeyleri

Erişim	Değişim (%)					Değişim Düzeyi Puanlama				
	1957	1976	1997	2005	Güncel	1957	1976	1997	2005	Güncel
1	80,3	78,7	78,2	70,5	74,7	1	1	1	2	2
2	92,5	96,6	96,5	95,1	91,9	1	1	1	1	1
3	100,0	100,0	94,2	72,1	73,8	1	1	2	3	3
4	100,0	100,0	97,6	92,4	89,1	1	1	1	2	2
5	100,0	100,0	95,7	88,9	89,1	1	1	1	2	2
6	87,6	88,2	13,7	13,5	14,2	1	1	4	4	4
7	83,3	46,9	22,7	27,2	26,7	1	4	4	4	4
8	88,6	32,3	17,8	10,1	8,1	1	4	4	5	5
9	95,6	90,4	9,9	8,1	5,7	1	2	5	5	5
10	100,0	96,9	9,6	8,5	4,3	1	1	5	5	5
11	95,8	24,8	25,7	33,1	35,1	1	4	4	4	4
12	81,9	46,3	46,7	46,0	45,6	1	4	4	4	4
13	100,0	42,4	47,9	45,3	45,0	1	4	4	4	4

5.6 Dönemsel Değerlendirme

Çalışma kapsamında, 1957 yılından günümüze kadar Saz-Çayırova havzasındaki dere kolları için incelemeler yapılmıştır. 1957 yılında dere kollarına yapılan müdahaleler minimal düzeydedir. Bu nedenle ilgili yıl doğala yakın düzey olarak sınıflandırılmıştır. Dönemsel değişime karar verilirken, ilgili dönemdeki eksik veriler kapsam dışında tutulmuş ve kalan verilerin ağırlıkları normalize edilerek verilmiştir (Tablo 5.20).

5.7 Hidromorfolojik Değişim Düzeyleri

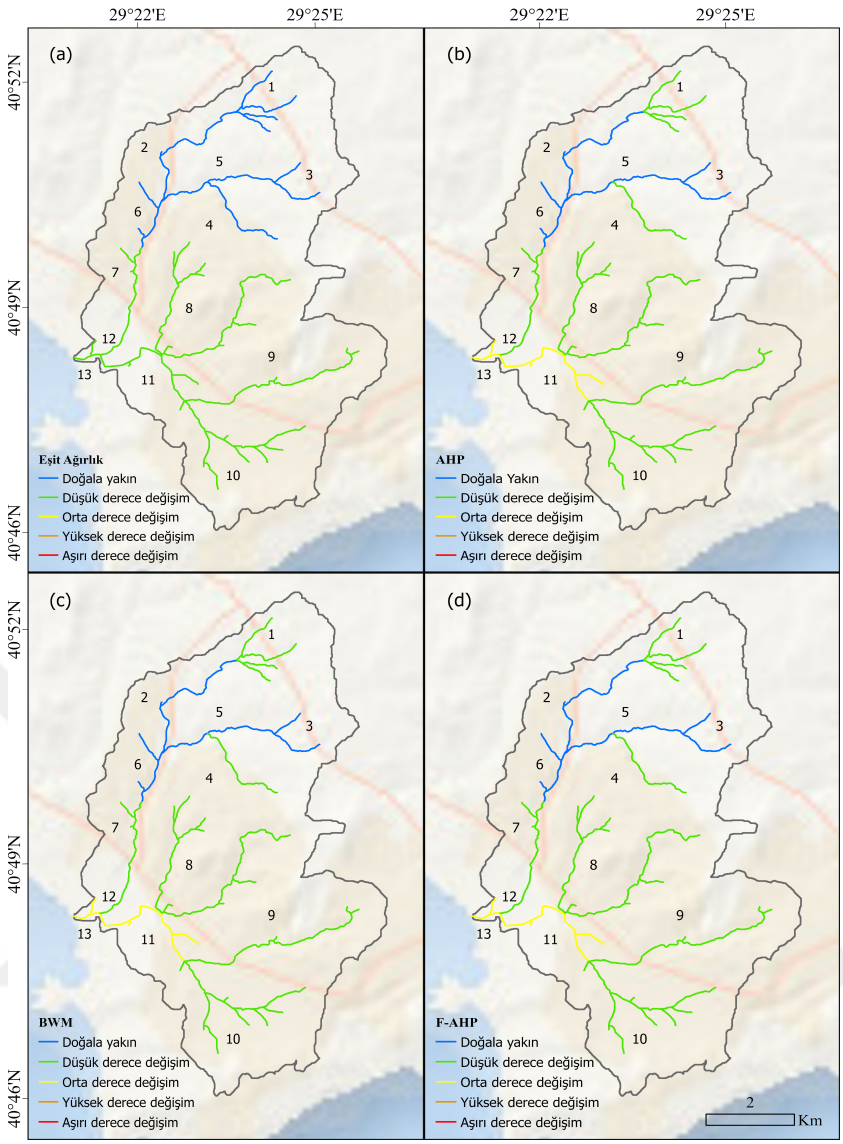
Hidromorfolojik değişime etki eden kriterlerin ağırlıkları ile her bir dönem için hesaplanan değişim düzeyi çarpılarak erişim kolları için ortalama değişim değerleri hesaplanmıştır (Tablo 5.21). Ağırlıkların eşit kabul edildiği durumun yanında üç ÇKKV yönteminden elde edilen ağırlıklar üzerinden hesaplanan değişim düzeyi haritaları Şekil 5.4 ve Şekil 5.7 arasında verilmiştir. Ayrıca ağırlıklandırma yapılmadan, tüm kriterlerin ağırlıkları eşit kabul edilerek üç farklı ÇKKV yöntemi ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.20 Kriterlerin dönemlere göre normalize edilen ağırlıkları

Kriterler	1957, 1976, 1997 ve 2005			Güncel		
	AHP	BWM	F-AHP	AHP	BWM	F-AHP
pH	-	-	-	0,0371	0,0376	0,0359
ÇO	-	-	-	0,0721	0,0722	0,0692
Eİ	-	-	-	0,0251	0,0255	0,0240
ORP	-	-	-	0,0195	0,0203	0,0188
Nutrientler	-	-	-	0,0350	0,0329	0,0324
Toprak alkali metal	-	-	-	0,0086	0,0109	0,0075
Ağır metaller	-	-	-	0,0455	0,0433	0,0446
Organik karbon	-	-	-	0,0328	0,0323	0,0321
Alkalinite	-	-	-	0,0113	0,0133	0,0111
AKM	-	-	-	0,0206	0,0228	0,0202
Nehir geometrisi	0,0314	0,0345	0,0326	0,0181	0,0196	0,0187
Sediment	0,0604	0,0628	0,0674	0,0347	0,0357	0,0387
Mendereslenme	-	-	-	-	-	-
Nehir içi bitki örtüsü	-	-	-	0,0206	0,0226	0,0224
Erozyon/biriktirme karakteri	0,0543	0,0531	0,0578	0,0313	0,0301	0,0332
Debi/akış	0,0935	0,0899	0,1029	0,0538	0,0510	0,0591
Nehir içi yapay yapılar	-	-	-	0,0283	0,0292	0,0312
Yeraltı suyu bağlantısı	-	-	-	0,0290	0,0301	0,0320
Nehir kenar materyali	-	-	-	0,0389	0,0393	0,0446
Kıyı/kenar yapay yapılar	0,0906	0,0901	0,0991	0,0521	0,0511	0,0569
Kıyı/kenar bitki örtüsü	0,0807	0,0888	0,0864	0,0464	0,0504	0,0496
Taşkın yapay yapılar	0,1774	0,1800	0,1769	0,1021	0,1022	0,1015
Taşkın bitki örtüsü	0,0781	0,0782	0,0746	0,0450	0,0444	0,0428
Sulak alanlar	0,0605	0,0641	0,0622	0,0348	0,0364	0,0357
Arazi kullanımı	0,1302	0,1272	0,1146	0,0750	0,0722	0,0658
Akış sırası	0,0587	0,0533	0,0513	0,0338	0,0303	0,0295
Drenaj yoğunluğu	0,0676	0,0589	0,0595	0,0389	0,0334	0,0341
Kompaktlık katsayısı	0,0166	0,0190	0,0146	0,0096	0,0108	0,0084
Toplam	1	1	1	1	1	1

Tablo 5.21 Saz-Çayırova erişimleri için hidromorfolojik değişim düzey değerleri

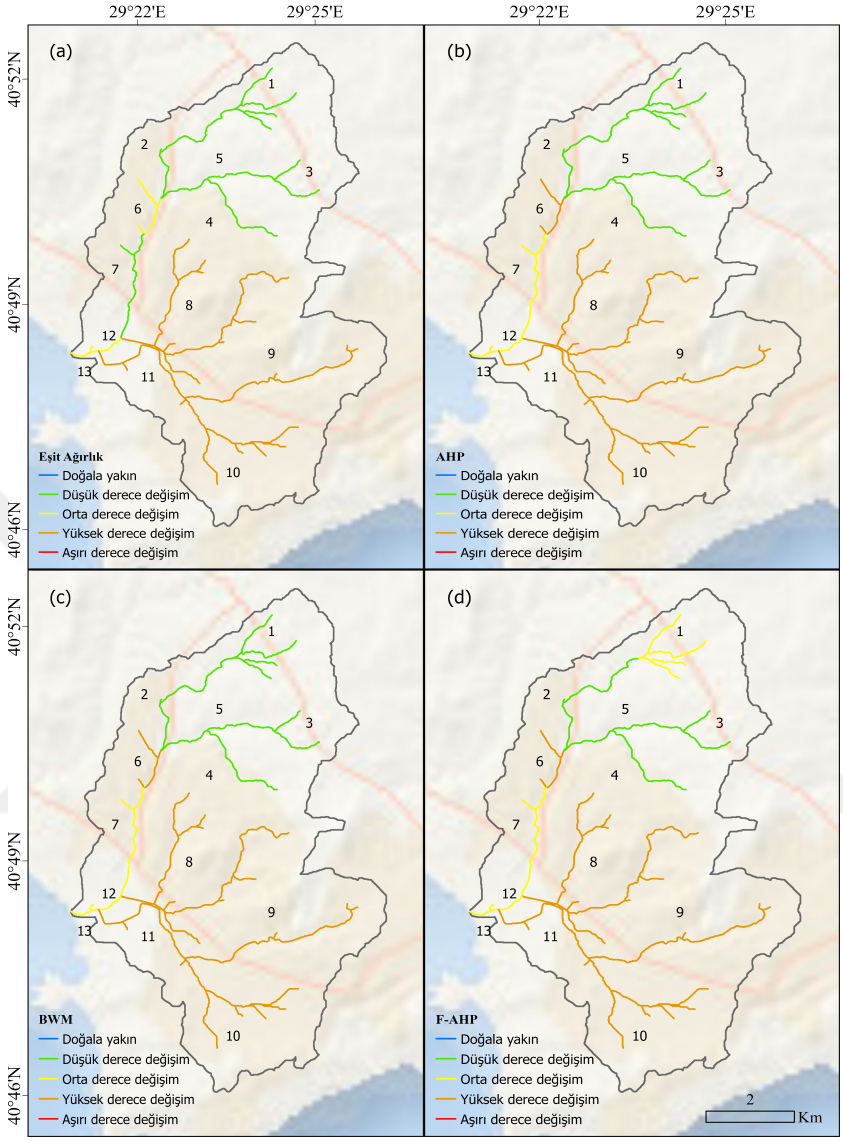
Erişim	1976				1997				2005				Güncel			
	Eşit Ağırlık	AHP	BWM	F-AHP	Eşit Ağırlık	AHP	BWM	F-AHP	Eşit Ağırlık	AHP	BWM	F-AHP	Eşit Ağırlık	AHP	BWM	F-AHP
1	1,42	1,51	1,51	1,53	2,33	2,44	2,46	2,51	3,33	3,68	3,63	3,64	3,19	3,37	3,33	3,37
2	1,17	1,17	1,16	1,17	1,92	1,81	1,81	1,84	2,92	3,18	3,12	3,10	3,19	3,36	3,32	3,33
3	1,42	1,48	1,48	1,49	2,25	2,20	2,28	2,30	3,17	3,49	3,45	3,45	3,46	3,57	3,54	3,57
4	1,49	1,58	1,57	1,60	2,33	2,38	2,35	2,37	3,00	3,18	3,13	3,12	4,00	4,15	4,14	4,16
5	1,08	1,07	1,06	1,06	1,92	1,93	1,95	1,96	2,92	3,14	3,08	3,09	2,92	2,99	2,96	2,96
6	1,42	1,43	1,42	1,43	3,17	3,58	3,62	3,60	3,58	3,96	3,92	3,91	3,27	3,52	3,48	3,52
7	1,83	2,11	2,12	2,13	2,49	2,86	2,82	2,79	3,33	3,73	3,69	3,67	3,42	3,67	3,64	3,66
8	1,83	1,99	1,98	2,02	3,83	4,20	4,20	4,23	4,49	4,77	4,77	4,77	4,57	4,79	4,78	4,79
9	2,00	2,15	2,14	2,21	3,75	4,09	4,03	4,06	4,33	4,58	4,56	4,59	4,64	4,81	4,81	4,84
10	2,08	2,23	2,22	2,29	4,00	4,40	4,34	4,35	4,42	4,72	4,70	4,71	4,71	4,94	4,93	4,95
11	2,46	2,63	2,64	2,68	3,54	3,83	3,77	3,79	4,00	4,20	4,16	4,19	4,20	4,43	4,40	4,43
12	2,00	2,16	2,17	2,19	3,00	3,19	3,17	3,21	3,33	3,42	3,38	3,41	3,81	3,86	3,84	3,87
13	2,38	2,78	2,80	2,81	3,00	3,30	3,29	3,31	3,46	3,66	3,63	3,65	3,85	3,90	3,88	3,91



Şekil 5.4 Erişimlerin 1976 yılına ait hidromorfolojik değişim düzeyleri; (a) Eşit Ağırlıklı, (b) AHP, (c) BWM ve (d) F-AHP

Şekil 5.4'de gösterilen 1957-1976 yılları arasındaki değişim düzeyi sonuçları incelendiğinde; kriter ağırlıklarının eşit kabul edildiği durum ile ÇKKV yöntemleriyle ağırlıklandırılan kriterlerden elde edilen sonuçlar arasında belirgin farklılıklar gözlemlenmiştir. Saz deresinin Erişim-1, 4 ve Çayırova deresinin ise Erişim-11 ve 13 kollarında üç ÇKKV yönteminden farklı olarak daha düşük düzeyde değişimler elde edilmiştir. Diğer taraftan, bu tarihler arasında üç ÇKKV yöntemi aynı sonuçları üretmiştir. Çayırova deresi üzerinde bulunan Erişim-11 ve Saz-Çayırova bağlantısındaki Erişim-13 kollarında orta düzeyde değişim gözlemlenmiştir. Bunun nedeni kıyı/kenar ve taşkın sınırlarındaki bitki örtüsünün azalması, arazi kullanımdaki değişimler ile endüstriyel deşarjlardır. Saz deresinin Erişim-1, 4, 7 ve Çayırova deresinin Erişim-8, 9 ve 10 kollarında düşük düzeyde değişimler gözlemlenmiştir. Bu durum debi, sediment, erozyon biriktirme karakteri

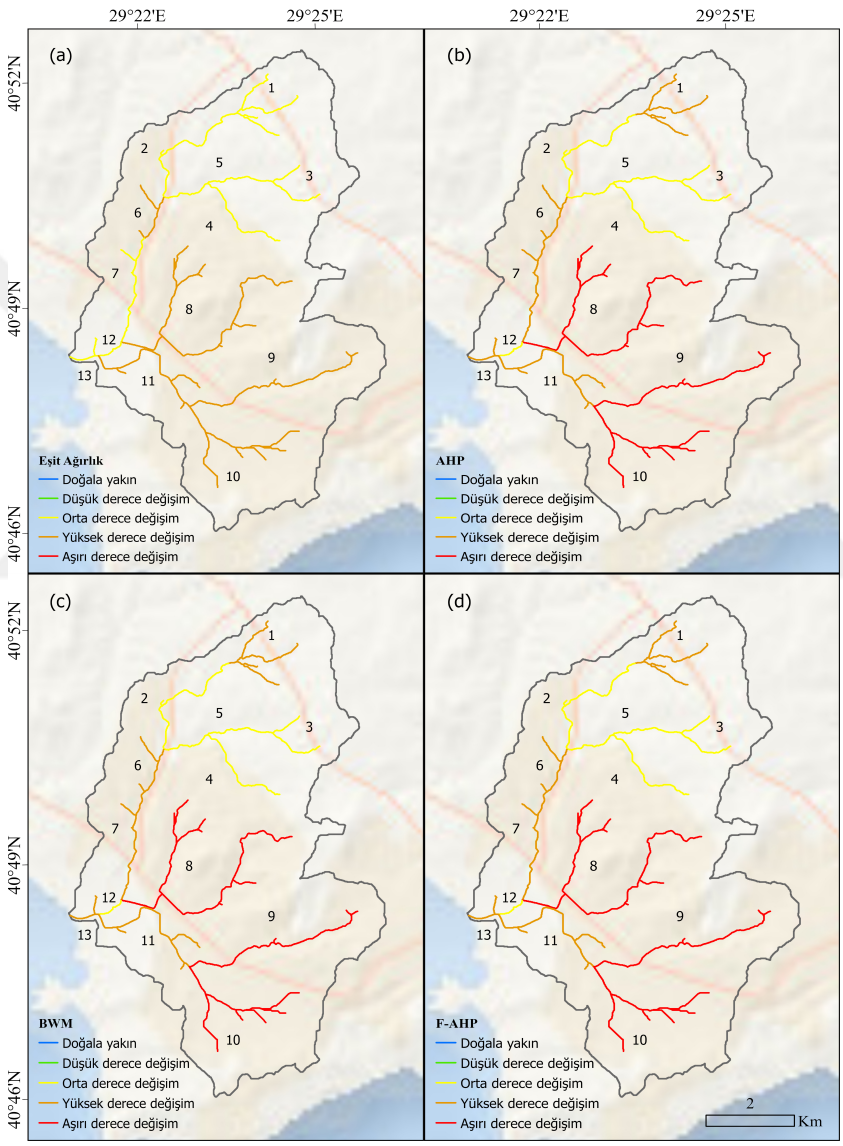
ve taşkın sınırları içerisinde kalan yapay yapılardaki orta-yüksek düzeydeki değişimden kaynaklanmaktadır. Buna karşın, Saz deresinin Erişim-2, 3, 5 ve 6 kollarında doğal yapının korunduğu görülmektedir.



Şekil 5.5 Erişimlerin 1997 yılına ait hidromorfolojik değişim düzeyleri; (a) Eşit Ağırlıklı, (b) AHP, (c) BWM ve (d) F-AHP

Şekil 5.5'te gösterilen 1957-1997 yılları arasındaki değişim düzeyi sonuçları incelendiğinde; kriter ağırlıklarının eşit kabul edildiği durum ile ÇKKV yöntemleriyle ağırlıklandırılan kriterlerden elde edilen sonuçlar arasında genel olarak benzerlik bulunmaktadır. Ancak üç ÇKKV yöntemi ile aralarında yalnızca Saz deresinin orta bölümündeki Erişim-6 ve 7 kollarında farklar gözlemlenmektedir. Bu değişimler yine 1976 yılında olduğu gibi bir seviye düşük düzeydedir. Diğer taraftan, ÇKKV yöntemleri açısından bölgenin genel olarak orta ve yüksek derecede değiştiği görünmektedir. Saz deresinin erişim kollarında da doğal yapının değişmeye başladığı belirlenmiştir. Özellikle Erişim-6'daki

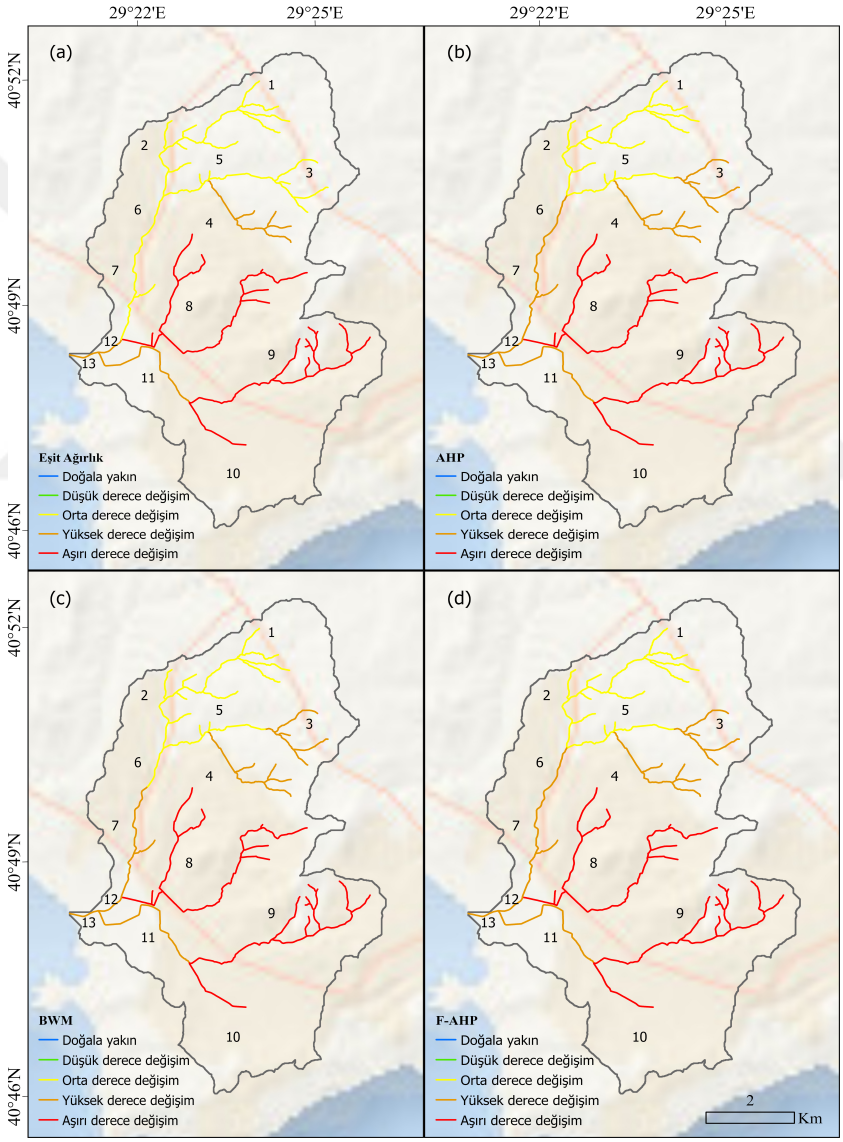
doğal yapının doğrudan yüksek derece değişime dönüşmesinin nedeni kentleşmenin artması, hayvancılık ve seracılık faaliyetlerinin yapılmaya başlamasıdır. Bu değişimler organik kirlilik oluşturmakta ve hidromorfolojik düzeyinde hızlı bir değişime neden olmaktadır. Çayırova kollarına ait erişimlerin neredeyse tamamı yüksek derece değişmiştir (Şekil 5.5). Bölgede kentleşmenin yoğunlaşması, sanayi tesislerinin artması, dere geometrisinin bozulması, debinin, sediment taşınımının ve erozyon biriktirme karakterinin değişmesi, hidromorfolojiyi olumsuz yönde etkilemiştir.



Şekil 5.6 Erişimlerin 2005 yılına ait hidromorfolojik değişim düzeyleri; (a) Eşit Ağırlıklı, (b) AHP, (c) BWM ve (d) F-AHP

Şekil 5.6'da gösterilen 1957-2005 yılları arasındaki değişim düzeyi sonuçları incelendiğinde; kriter ağırlıklarının eşit kabul edildiği durum ile ÇKKV yöntemleriyle ağırlıklandırılan kriterlerden elde edilen sonuçlar arasında derenin birçok kolunda farklılıklar gözlemlenmiştir. Saz deresinin Erişim-1, 7, Çayırova

deresinin Erişim-8, 9, 10 ve iki derenin birleşiminde yer alan Erişim-13 kollarında daha düşük düzeyde bir değişim olduğu görünmektedir. Ayrıca kriter ağırlıklarının eşit kabul edildiği duruma ait sonuçlarda herhangi bir erişim kolu için aşırı derecede bir değişim meydana gelmemiştir. ÇKKV yöntemleri ile ağırlıklandırma sonucu elde edilen sonuçlar açısından 2005 yılındaki değişim 1997 yılındakine benzerdir. Erişim kollarının hidromorfolojik değişimli kademeli olarak artmaya devam etmiştir. Özellikle Çayırova kollarının yeraltına alınması değişimin boyutunu ağırlaştırmıştır. Saz deresinin kuzeyinde yer alan Erişim-2, 3, 4 ve 5 kollarında doğal yapıyı korumaya yönelik ıslah çalışmaları hidromorfolojik değişimin orta düzeyde kalmasını sağlamıştır (Şekil 5.6).



Şekil 5.7 Erişimlerin güncel döneme ait hidromorfolojik değişim düzeyleri; (a) Eşit Ağırlıklı, (b) AHP, (c) BWM ve (d) F-AHP

Şekil 5.7'de gösterilen 1957 yılı ile güncel dönem arasındaki değişim düzeyi sonuçları incelendiğinde; kriter ağırlıklarının eşit kabul edildiği durum ile ÇKKV

yöntemleriyle ağırlıklandırılan kriterlerden elde edilen sonuçlar arasında farkların azaldığı gözlemlenmiştir. Yalnızca Saz deresinin Erişim-7 kolunda ÇKKV yöntemleri ile elde edilen sonuca göre bir seviye düşük değişim görünmektedir. Diğer taraftan, ÇKKV yöntemleri açısından günümüzde Çayırova kollarında değişim düzey değerlerinde artış gözlenmektedir (Tablo 5.21). Saz deresi kollarında yer alan Erişim-1 güncel durumda bir alt seviye olan orta derece değişim düzeyine dönüşmüştür. Değerdeki düşüşün temel nedeni su kalitesi parametresinin değerlendirmeye dahil olmasıdır. Saz deresinin diğer kollarında ise değişimin hiç olmaması veya bir üst seviyeye çıkmış olması, bölgedeki arazi topografyasındaki değişikliğe bağlı olarak birçok dere kolunun ıslah edilmesine, kıyı/kenar ve taşkın sınırları yapay yapılara ve nehir geometrisindeki bozulmaya bağlıdır.

Eşit ağırlık ve ÇKKV yöntemleriyle ağırlıklandırılan kriterlerden elde edilen sonuçlar arasında ilk yıllarda hidromorfolojik değişimler daha düşük değişim düzeyinde çıkmaktadır. Özellikle 1957-1976 yılları arasında eşit ağırlık sonuçlarına göre doğala yakın koşullar daha baskın görünmektedir. Günümüze doğru ilerledikçe ÇKKV yöntemleri ile elde edilen sonuçlar arasında farklar azalmakta ve ÇKKV yöntemleri ile elde edilen sonuçlara göre benzerlikler ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, eşit ağırlık ile elde edilen değişimlerin tüm dönemlerde ÇKKV yöntemleri ile elde edilen sonuçlara göre daha az olduğu görünmektedir. Diğer taraftan, ÇKKV yöntemleri açısından BWM ile AHP ve F-AHP yöntemleri arasında belirgin bir fark, yalnızca Erişim-6 dere kolunda ortaya çıkmaktadır. BWM ile elde edilen sonuçlar orta düzeyde bir değişim gösterirken, AHP ve F-AHP yöntemlerinde daha yüksek düzeyde değişimler gözlemlenmiştir. Bu farkın ana nedeni, BWM yöntemi için güncel dönemde kullanılan kriterlerin normalize edilmiş ağırlıklarının daha düşük olarak elde edilmesidir. Buna karşın BWM yöntemi için elde edilen değişim düzey değeri yüksek derece değişim sınıfı alt limitine çok yakındır. Değişim düzeyi değerlerinin birbirine yakın ancak sınıfsal bir fark oluşturması sınıflandırma sisteminin zayıflığından kaynaklanmaktadır.

5.8 Sınırlamalar ve Gelecek Araştırma Yönelimleri

Bu araştırma, Türkiye'nin kuzeybatsında yer alan ve 25 ana havzasından biri olan Marmara havzasının küçük bir alt parçasını oluşturan Saz-Çayırova havzasında yürütülmüştür. Hidromorfolojik verilerin çeşitliliği ve temsil ettiği gerçek dünya coğrafyası nedeniyle yapılan analizlerin belirli bir bölgeyle sınırlı olduğunu belirtmek gerekse de elde edilen bulgular endüstriyel ve kentsel etkilerin yoğun olduğu sahalarda hidromorfolojik değişim düzeyi değerlendirmelerinin mikro ölçekte yapılması gerektiğini göstermiştir. Nehir hidromorfolojisi çalışmaları

genellikle fiziksel ve kıyı habitatları, hidrolojik rejim değişiklikleri ve morfolojik özellikler olarak dört ana kategori altında ele alınırken mikro ölçekte yapılan çalışmalar hidrolojik ve jeomorfolojik unsurları, nehir peyzajı ve su kalitesi gibi parametreleri göz önünde bulunduran daha geniş bir perspektifte tasarlanmalıdır. Geniş perspektife sahip, kapsamlı araştırmalar hidroloji, jeomorfoloji, su kalitesi, ekoloji ve biyoloji gibi farklı disiplinlerin entegrasyonunu gerektirir. Bu süreçte saha çalışmaları, laboratuvar araştırmaları ve veri işleme gibi kapsamlı yatırımlarla birlikte, önemli sayıda araştırmacı vve teknik elemanın değerlendirmeleri önem kazanır. Mevcut ekonomik koşullar çerçevesinde, uzman değerlendirmesine dayalı hidromorfolojik izleme yöntemleri, kaynak ve zaman kısıtlamaları göz önünde bulundurulduğunda ekolojik kalitenin değerlendirilmesi için etkili bir yaklaşım oluşturabilir [23, 26, 141, 145, 229].

Bu çalışmada Saz-Çayırova havzasındaki hidromorfolojik değişimler çeşitli veri kaynaklarından elde edilen veriler üzerinden dönemsel olarak ele alınmıştır. Veri toplama sürecinde, özellikle HGM tarafından üretilen 1:25K ölçekli standart topografik haritalar en önemli mekânsal veri kaynağını oluşturmuştur. Bu haritalar, yükseklik, arazi ve fiziksel işaretlerin mekansal ilişkileri de dahil olmak üzere Dünya'nın yüzey özelliklerinin ayrıntılı bir temsilini sağlar. Bölgedeki yükseklik değişimleri, su toplama alanının belirlenmesi, dere yatağının şekli ve yapısının analizi, taşkına eğilimli alanların tespiti, nehir sisteminin tarihsel gelişimi hakkında bilgiler sağlamakta ve su akışını etkileyen yapay yapıların yerleşimi gibi önemli veriler sunmaktadır. Bu verilerin analizi, havzanın hidromorfolojik özelliklerinin belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır [165]. Ancak, topografik haritalarda kullanılan çözünürlük, hidromorfolojik detayların ayrıntılı bir şekilde çıkarılmasında yetersiz kalabilmektedir. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri, LİDAR ve İHA verileri, nehirlerin hidromorfolojik analizlerini daha yüksek doğrulukla gerçekleştirme imkanı sunarak bu sınırlamaları aşmada önemli bir rol oynayabilir.

Hidrolojik model analizi ile geçmişe yönelik elde edilmesi zor olan hidromorfolojik değerlendirme kriterlerine ait veriler türetilebilmektedir. Bu model, hidrolojik ve çevresel süreçlerin simülasyonunda su, sediment ve kirletici taşınımını tahmin etmede etkili bir araç olmasına rağmen, doğru sonuçlar elde edebilmek için kalibrasyon ve validasyon süreçlerinin özenle yürütülmesi gerekmektedir. Modelin geçmiş verilerle yeterince kalibre edilmemesi durumunda, sonuçların doğruluğu azalabilir. Kalibrasyon sürecinde yeterli veri bulunmaması veya model parametrelerinin uygun şekilde ayarlanmaması, elde edilen sonuçların güvenilirliğini olumsuz yönde etkileyebilir. Ayrıca, modelin performansını test etmek ve doğrulamak amacıyla kullanılan validasyon verilerinin yeterli ve güvenilir

olması da büyük önem taşır. Bu nedenle, modeli desteklemek için ek veri kaynakları ve gelişmiş analiz yöntemlerinin kullanılması, bu belirsizlikleri minimize edebilir. Uzun dönemli ölçümler ile gelecek dönemlere yönelik hidrolojik model kurulumları da benzer belirsizlikleri ortadan kaldırmada etkili olabilir.

Verilerin dönemsel karşılaştırılmasında kullanılan ÇKKV yöntemlerinde yer alan öznel yaklaşımlar, karşılaştırılan parametre sayısının artmasıyla birlikte değerlendirme sürecindeki belirsizlikleri de artırabilir. Özellikle, parametre sayısının artması uzmanlar için karşılaştırmaları zorlaştırmakta ve bu durum potansiyel önyargılara yol açabilmektedir. İstatistiksel analizler ise dönemsel karşılaştırmalardaki öznelliği azaltarak, sonuçların daha güvenilir ve objektif hale gelmesine katkıda bulunur. Verilerin istatistiksel anlamlılığını test etmek, gözlemlenen değişikliklerin rastgele mi yoksa belirli bir trendin sonucu mu olduğunu belirlemeye yardımcı olur ve bu sayede parametreler arasındaki ilişkilerin daha net bir şekilde tanımlanmasına olanak sağlar.

6
SONUÇ

Su ekosistemlerinin korunmasında ve kaynakların sürdürülebilir yönetiminde hidromorfolojik izleme ve analiz çalışmaları stratejik bir öneme sahiptir. Bu çalışmalar suyun yeryüzüne çıktığı kaynak noktalardan başlayarak akarsu ağı ekosistemi, rezerv alanlar ve kıyılar boyunca sürdürülmelidir. Bu tez çalışmasında nehir ağları için gerçekleştirilmesi gereken hidromorfolojik izleme ve analiz çalışmaları çok disiplinli bir yaklaşımla ele alınmış, morfolojik, hidrolojik ve ekolojik etkenler ile su kalitesi unsurları arasında bağlantı kurularak bütüncül bir değerlendirme yapılmıştır. Çalışmanın sonunda ortaya çıkan ve dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıdaki gibidir:

- Nehir hidromorfolojisi çalışmaları, nehir yatağındaki, kıyı/kenar, taşkın ve havza bölgesindeki kriterler için ayrı olarak ele alınmıştır. Her bir alt bölge için yapılan değerlendirmeler ÇKKV yaklaşımı ile uzman görüşleri kullanılarak bütünleştirilmiştir.
- İzlemeler, SÇD'de belirtilen kriterler üzerinden yapılmış ve su kalitesi unsurları hidromorfolojik değerlendirme yaklaşımına dahil edilmiştir.
- Hidromorfolojik izleme çalışmalarında görev alan uzmanların bilgi düzeyleri ve deneyimleri değişim düzeyine karar verilmesinde doğrudan etkili olmuştur. Uzmanların nehir ekosistemleri ve su kaynakları üzerine eğitim almış kişiler arasından seçilmesi gerektiği anlaşılmıştır.
- Hidromorfolojik değerlendirme kriterlerinin önem derecelerini ÇKKV ile belirlemek için uzmanların verdikleri yanıtların tutarlılıkları incelenmiştir. Farklı ÇKKV yaklaşımları için sorulan soruları tutarlı olarak cevaplandıran uzmanların görüşleri değerlendirmeye alınmış, tutarsız görüşler değerlendirme dışında tutulmuştur.
- Topografik haritaların hidromorfolojik değerlendirme kriterlerinin birçoğunun elde edilmesinde ana bir kaynak oluşturduğu ortaya çıkmıştır.

Nehir dinamiklerini ve çevresel etkileri daha iyi anlamak için temel verileri sağlamıştır. Örneğin yükseklik değişimlerini gösteren eş yükseklik çizgileri su akışının hızını ve tortu taşınmasını etkileyen bir nehrin eğimi hakkında bilgiler sağlamaktadır. İkinci olarark, topografik haritalar üzerinden havza sınırlarının üretilmesi ile suyun nasıl toplandığı ve akışı ile ilgili değerli bilgiler elde edilmektedir. Nehir yatağının morfolojisinin belirlenmesi, nehir sistemi içindeki sediment taşınımı, erozyon ve biriktirme süreçlerinin dinamiklerini anlamada büyük öneme sahiptir. Topografik haritalar çeşitli jeomorfolojik özelliklerin belirlenmesi ile nehir sisteminin tarihsel gelişimi, geçmiş taşkın olayları ve zaman içinde nehir dinamiklerindeki değişiklikler hakkında bilgi sağlamaktadır. Bu sayede topografik haritaların hidromorfolojik değişim analizi çalışmalarında kullanımı sürdürülebilir su yönetimi ve koruma stratejilerinin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır.

- Hidrolojik model analizi ile geçmişe yönelik elde edilmesi zor olan bazı hidromorfolojik değerlendirme kriterlerine ait verilerin türetilebileceği tespit edilmiştir. Doğal ve insan kaynaklı etkilerin uzun vadeli tahminlerinin yapılabilmesi ile nehir ortamlarının sürdürülebilir yönetimine ve korunmasına katkıda bulunmaktadır.

- Hidromorfolojik değerlendirme için kullanılan ÇKKV teknikleri arasında BWM diğer iki yaklaşımdan daha tutarlı sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Bunun nedeni, BWM yaklaşımının uzmanların en çok ve en az uygun gördükleri kriterleri önceden tanımlamalarından kaynaklanmaktadır. Bu türde bir açık beyan AHP ve F-AHP'de mevcut değildir. Bu sayede BWM uzmanlara daha az sayıda ikili karşılaştırma yapma imkânı sağlamıştır.

- ÇKKV yöntemlerinin performanslarını karşılaştırmak için minimum ihlal, toplam sapma ve parametrik olmayan istatistiksel testler kullanılmıştır. Ele alınan bu testler BWM yaklaşımını istatistiksel anlamda da ön plana çıkartmıştır.

- Üç ÇKKV yaklaşımı için uzmanlardan toplanan görüşler tutarlı eğilimler sergilemiştir. Özellikle, Saz Çayırova dereleri için su kalitesi ana grubundaki kriterler ön plana çıkarak hidromorfoloji üzerinde baskın çıkmıştır. Bununla birlikte genel olarak arazi kullanım özelliklerindeki değişimler bölgenin hidromorfolojisine çok fazla etki etmiştir.

- ÇKKV yaklaşımlarının dikkate alınmadığı ve kriterlerin eşit ağırlıklı kabul edildiği durumlarda, iyileştirilmiş sonuçlar elde edilmiştir. Bu bulgular, bölge hakkında ön bilgisi olmayan araştırmacılara genel bir bakış açısı sunabilir.

Ancak, nehrin hidromorfolojik değişimleri hakkında kapsamlı ve sağlıklı sonuçlar elde etmek için bu yaklaşımın yetersiz kaldığı görülmüştür.

- Nehir hidromorfolojisinin değerlendirilmesinde ağırlıklandırma ve sıralamaya dayalı olarak bulunan en etkili on parametre; (1) taşkın yatağındaki arazi kullanımı, (2) sudaki ÇO miktarı, (3) havzadaki arazi kullanımı, (4) derenin debisi/akışı; (5) kıyı/kenar bölgelerinde bulunan yapılar, (6) kıyı/kenar bitki örtüsünün sürekliliği, (7) sudaki ağır metaller miktarı, (8) taşkın bölgesindeki bitki örtüsü, (9) nehir kenar materyali ve (10) sudaki pH değeri değişimleridir. Bu sıralama hidrolojik ve jeomorfolojik unsurların hidromorfoloji üzerinde karmaşık bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

- Dere kolları üzerinde endüstrileşmeye bağlı noktasal deşarj kaynakları, taşkın sınırlarına yakın yerlerdeki yapılaşmalar ve dere yatağı üzerindeki yapısal düzenlemeler Saz Çayırova derelerinin su kalitesini ve hidromorfolojisini yoğun şekilde etkilemiştir. Bu tespitler doğal etkenlerden ziyade antropojenik faktörlerin nehir hidromorfolojisini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir.

- Antropojenik etkilerin plansız ve kontrolsüz gelişimi sucul türler ile fiziksel habitatın büyük bir hızla bozulmasına yol açabileceği anlaşılmıştır.

- Nehir kolları yakınındaki bölgelerde kurulacak endüstri tesisleri için çevresel risk değerlendirmelerinin yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

- Harita projeksiyonunun doğru seçimi, nehirlerin hidromorfolojik değişimlerinin incelenmesinde büyük önem taşımaktadır. Ancak, çalışmamızın küçük ölçekli bir havzayı kapsaması ve kartografik açıdan "bir bölgenin alanının 10 km yarıçaplı bir daire alanından büyük olmaması halinde bölge için yeryüzünün şekli düzlem kabul edilebilir" şartı göz önüne alındığında, elde edilen sonuçlar üzerinde bir etkisinin olmayacağı öngörülmektedir. Bununla birlikte, ülkemizin doğu-batı doğrultusunda uzanan geniş bir alana sahip olması ve benzer yönlerde uzanan birçok havzayı içermesi, yeryüzü şeklinin küre olarak kabul edilmesini ve harita projeksiyon seçiminin dikkatlice yapılmasını gerektirmektedir.

- Bu tez çalışması, üretilen veriler üzerinden yapay zeka, makine öğrenimi ve derin öğrenme gibi modern analizlerin uygulanması konusunda sınırlı kalmaktadır. Ancak, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ve İHA gibi kaynaklardan elde edilecek uzun dönemli veriler, daha geniş zaman periyotları için bu tür analizlerin yapılmasına olanak tanıyabilir.

- Ülkemizde nehirlerin hidromorfolojik izlemeleri için belirlenen standartların yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, tüm su kütleleri için hidromorfoloji alanında farklı disiplinlerden uzmanların bir araya getirilerek bir çalışma grubu oluşturulması gerekmektedir. Nehirler, göller, geçiş ve kıyı suları gibi farklı su kütleleri için hidromorfolojik değişim stratejileri ayrı ayrı ele alınmalıdır. Hidromorfolojinin çok disiplinli bir alan olduğu düşünüldüğünde, bu alana ilişkin tüm tanımlamaların önceden yapılması, araştırmacılar için analizler öncesinde faydalı bir ön bilgi sağlayacaktır. Tüm su kütleleri için bir protokol listesi oluşturulması, hidromorfolojik değişime etki eden kriterlerin nasıl incelenmesi gerektiği konusunda yol gösterici olabilir. Bu süreçte, SÇD ve CEN standartlarının rehberlik sağlayabileceği öngörülmektedir.

Birçok farklı disiplinden uzmanın etkileşimli olarak çalışmak zorunda olduğu hidromorfolojik izleme ve analiz çalışmaları sürdürülebilir kalkınma hedeflerine (SKH) ulaşmada kritik bir rol oynar. Bu çalışma, içme suyu, sanayi faaliyetleri ve tarımsal sulama bağlamında "Su Temizliği ve Hijyen (SKH 6)"; hidroelektrik enerji üretiminin verimliliği için "Temiz Enerji (SKH 7)"; nehir ekosistemlerinin sağlığı ve iklim değişikliklerine karşı dirençli yapılara sahip olma açısından "İklim Eylemi (SKH 13)"; sucul ve karasal ekosistemler arasındaki bağlantı nedeniyle "Sudaki Yaşam (SKH 14) ve Karasal Yaşam (SKH 15)" ile son olarak nehir yönetimi, koruma planlamaları, uluslararası işbirlikleri ve politika yapıcılar, araştırmacılar ve yerel topluluklar açısından "Hedefler için Ortaklıklar (SKH 17)" kalkınma hedefine de destek vermektedir.

KAYNAKÇA

[1] O. Soytürk, "Su çerçeve direktifine göre yeraltı sularının izlenmesi ve Türkiye için bir değerlendirme," Uzmanlık Tezi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, 2014.

[2] C. Akkaya, A. Efeoğlu N. Yeşil, "Avrupa Birliği su çerçeve direktifi ve Türkiye'de uygulanabilirliği," *TMMOB Su Politikaları Kongresi*, c. 1, ss. 195–204, 2006.

[3] I. Shiklomanov, "World fresh water resources," içinde *Water in crisis: a guide to the world's*. Oxford: Oxford University Press, 1993.

[4] I. A. Shiklomanov J. C. Rodda, *World water resources at the beginning of the twenty-first century*. United Kingdom: Cambridge University Press, 2003.

[5] Z. Şen, *Su bilimi ve yöntemleri*. İstanbul, Türkiye: Su Vakfı Yayınları, 2003.

[6] UN, *The world water development report 1: Water for people, water for life. United Nations World Water Assessment Programme. Executive summary*. Paris, France. UNESCO, 2003.

[7] *USGS*, 2018. erişim adresi: https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/where-earths-water (erişim tarihi 03/03/2024).

[8] J. Liu ve diğ., "Water scarcity assessments in the past, present, and future," *Earth's Future*, c. 5, no. 6, ss. 545–559, 2017. doi: 10.1002/2016EF000518.

[9] M. Wang ve diğ., "A triple increase in global river basins with water scarcity due to future pollution," en, *Nature Communications*, c. 15, no. 1, s. 880, 2024. doi: 10.1038/s41467-024-44947-3.

[10] Z. Selek Y. Karaaslan, *Ekosistem Esaslı Su Kalitesi Yönetimi*. TC Tarım ve Orman Bakanlığı, Ankara, 2019.

[11] V. Sumer C. Muluk, "Challenges for Turkey to Implement the EU Water Framework Directive," içinde *Turkey's Water Policy*, A. Kramer, A. Kibaroglu W. Scheumann, ed., Springer Berlin Heidelberg, 2011, ss. 43–67. doi: 10.1007/978-3-642-19636-2_3.

[12] "European Commission," Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy. Official Journal L 327, 22/12/2000, Brussels, 2000.

[13] P. J. Boon, N. T. Holmes P. J. Raven, "Developing standard approaches for recording and assessing river hydromorphology: the role of the European Committee for Standardization (CEN)," *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, c. 20, no. S1, 2010. doi: 10.1002/aqc.1097.

[14] I. Vaughan ve diğ., "Integrating ecology with hydromorphology: a priority for river science and management," *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, c. 19, no. 1, ss. 113–125, 2009. doi: 10.1002/aqc.895.

[15] P. Raven, N. Holmes, P. Charrier, F. Dawson, M. Naura P. Boon, "Towards a harmonized approach for hydromorphological assessment of rivers in Europe: a qualitative comparison of three survey methods," *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, c. 12, no. 4, ss. 405–424, 2002. doi: 10.1002/aqc.536.

[16] M. Rabenhorst, J. Bell P. McDaniel, *Quantifying soil hydromorphology*. Wiley-Blackwell, 1998, c. 54. doi: 10.2136/sssaspecpub54.

[17] L. P. Wilding H. Lin, "Advancing the frontiers of soil science towards a geoscience," *Geoderma*, c. 131, no. 3-4, ss. 257–274, 2006. doi: 10.1016/j.geoderma.2005.03.028.

[18] M. D. Newson A. R. G. Large, "'Natural' rivers, 'hydromorphological quality' and river restoration: a challenging new agenda for applied fluvial geomorphology," *Earth Surface Processes and Landforms*, c. 31, no. 13, ss. 1606–1624, 2006. doi: 10.1002/esp.1430.

[19] H. G. Orr, A. R. G. Large, M. D. Newson C. L. Walsh, "A predictive typology for characterising hydromorphology," *Geomorphology*, c. 100, no. 1-2, ss. 32–40, 2008.

[20] V. Šípek, M. Matoušková M. Dvořák, "Comparative analysis of selected hydromorphological assessment methods," *Environmental Monitoring and Assessment*, c. 169, no. 1-4, ss. 309–319, 2010. doi: 10.1007/s10661-009-1172-6.

[21] R. M. Vogel, "Hydromorphology," *Journal of Water Resources Planning and Management*, c. 137, no. 2, ss. 147–149, 2011. doi: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000122.

[22] B. Belletti, M. Rinaldi, A. D. Buijse, A. M. Gurnell E. Mosselman, "A review of assessment methods for river hydromorphology," *Environmental Earth Sciences*, c. 73, no. 5, ss. 2079–2100, 2015. doi: 10.1007/s12665-014-3558-1.

[23] S. Bizzi, L. Demarchi, R. C. Grabowski, C. J. Weissteiner W. Van De Bund, "The use of remote sensing to characterise hydromorphological properties of European rivers," *Aquatic Sciences*, c. 78, no. 1, ss. 57–70, 2016. doi: 10.1007/s00027-015-0430-7.

[24] W. S. Platts, W. F. Megahan G. W. Minshall, *Methods for evaluating stream, riparian, and biotic conditions*. US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest ve Range Experiment Station, 1983, c. 138.

[25] J. L. Plafkin, M. Barbour, K. Porter, S. Gross R. Hughes, *Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrates and fish*. United States Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC, USA, 1989.

[26] M. Rinaldi ve diğ., "Review on eco-hydromorphological methods. Deliverable 1.1, REFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Management)," içinde *Project Funded by the European Commission within the 7th Framework Programme (2007–2013), Topic ENV. 2011.2. 1.2–1 Hydromorphology and Ecological Objectives of WFD*, 2013.

[27] A. Mentzafou, P. Katsafados, A. Papadopoulos E. Dimitriou, "Hydrological Regime Alteration Assessment in the Context of WFD 2000/60: A European and Global Review," *Sustainability*, c. 15, no. 22, s. 15 704, 2023. doi: 10.3390/su152215704.

[28] V. Istvánovics, M. Honti, Á. Kovács, G. Kocsis I. Stier, "Phytoplankton growth in relation to network topology: time-averaged catchment-scale modelling in a large lowland river," *Freshwater Biology*, c. 59, no. 9, ss. 1856–1871, 2014. doi: 10.1111/fwb.12388.

[29] S. Guareschi, A. Laini, E. Racchetti, T. Bo, S. Fenoglio M. Bartoli, "How do hydromorphological constraints and regulated flows govern macroinvertebrate communities along an entire lowland river?" *Ecohydrology*, c. 7, no. 2, ss. 366–377, 2014. doi: 10.1002/eco.1354.

[30] B. Messyasz, R. Staniszewski S. Jusik, "Algae Assemblages and Dominant Macrophytes in Small Lowland Rivers of Poland in Relation to Water Quality and Hydromorphology," *Fresenius Environmental Bulletin*, c. 23, no. 2, 2014.

[31] F. Pilotto, A. Bertoncin, G. L. Harvey, G. Wharton M. T. Pusch, "Diversification of stream invertebrate communities by large wood," *Freshwater Biology*, c. 59, no. 12, ss. 2571–2583, 2014.

[32] K. Steffen, C. Leuschner, U. Müller, G. Wiegleb T. Becker, "Relationships between macrophyte vegetation and physical and chemical conditions in northwest German running waters," *Aquatic Botany*, c. 113, ss. 46–55, 2014. doi: 10.1016/j.aquabot.2013.10.006.

[33] K. Van Looy, T. Tormos Y. Souchon, "Disentangling dam impacts in river networks," *Ecological Indicators*, c. 37, ss. 10–20, 2014. doi: 10.1016/j.ecolind.2013.10.006.

[34] J. Fan ve diğ., "Ecological status classification of the Taizi River Basin, China: a comparison of integrated risk assessment approaches," *Environmental Science and Pollution Research*, c. 22, no. 19, ss. 14 738–14 754, 2015. doi: 10.1007/s11356-015-4629-x.

[35] D. Hering ve diğ., "Contrasting the roles of section length and instream habitat enhancement for river restoration success: a field study of 20 European restoration projects," *Journal of Applied Ecology*, c. 52, no. 6, ss. 1518–1527, 2015. doi: 10.1111/1365-2664.12531.

[36] S. Jusik, K. Szoszkiewicz, J. M. Kupiec, I. Lewin A. Samecka-Cymerman, "Development of comprehensive river typology based on macrophytes in the mountain-lowland gradient of different Central European ecoregions," *Hydrobiologia*, c. 745, no. 1, ss. 241–262, 2015.

[37] J. Kail, K. Brabec, M. Poppe K. Januschke, "The effect of river restoration on fish, macroinvertebrates and aquatic macrophytes: A meta-analysis," *Ecological Indicators*, c. 58, ss. 311–321, 2015. doi: 10.1016/j.ecolind.2015.06.011.

[38] T. Wronski, M. C. Dusabe, A. Apio, B. Hausdorf C. Albrecht, "Biological assessment of water quality and biodiversity in Rwandan rivers draining into Lake Kivu," *Aquatic Ecology*, c. 49, no. 3, ss. 309–320, 2015. doi: 10.1007/s10452-015-9525-4.

[39] F. Pilotto, G. L. Harvey, G. Wharton M. T. Pusch, "Simple large wood structures promote hydromorphological heterogeneity and benthic macroinvertebrate diversity in low-gradient rivers," *Aquatic Sciences*, c. 78, no. 4, ss. 755–766, 2016. doi: 10.1007/s00027-016-0467-2.

[40] M. Poppe, J. Kail, J. Aroviita, M. Stelmaszczyk, M. Giełczewski S. Muhar, "Assessing restoration effects on hydromorphology in European mid-sized rivers by key hydromorphological parameters," *Hydrobiologia*, c. 769, no. 1, ss. 21–40, 2016. doi: 10.1007/s10750-015-2468-x.

[41] B. Belletti ve diğ., "Characterising physical habitats and fluvial hydromorphology: A new system for the survey and classification of river geomorphic units," *Geomorphology*, c. 283, ss. 143–157, 2017. doi: 10.1016/j.geomorph.2017.01.032.

[42] J. Fan ve diğ., "Predicting Bio-indicators of Aquatic Ecosystems Using the Support Vector Machine Model in the Taizi River, China," *Sustainability*, c. 9, no. 6, s. 892, 2017. doi: 10.3390/su9060892.

[43] D. Gebler, G. Wiegleb K. Szoszkiewicz, "Integrating river hydromorphology and water quality into ecological status modelling by artificial neural networks," *Water Research*, c. 139, ss. 395–405, 2018. doi: 10.1016/j.watres.2018.04.016.

[44] C. Theodoropoulos, N. Skoulikidis, A. Stamou E. Dimitriou, "Spatiotemporal Variation in Benthic-Invertebrates-Based Physical Habitat Modelling: Can We Use Generic Instead of Local and Season-Specific Habitat Suitability Criteria?" *Water*, c. 10, no. 11, s. 1508, 2018. doi: 10.3390/w10111508.

[45] O. A. Agboola, C. T. Downs G. O'Brien, "Macroinvertebrates as indicators of ecological conditions in the rivers of KwaZulu-Natal, South Africa," *Ecological Indicators*, c. 106, s. 105 465, 2019. doi: 10.1016/j.ecolind.2019.105465.

[46] C. Rodrigues ve diğ., "Assessing the ecological status of small Mediterranean rivers using benthic macroinvertebrates and macrophytes as indicators," *Environmental Monitoring and Assessment*, c. 191, no. 9, s. 596, 2019. doi: 10.1007/s10661-019-7766-8.

[47] S. Erba, M. Cazzola, C. Belfiore A. Buffagni, "Macroinvertebrate metrics responses to morphological alteration in Italian rivers," *Hydrobiologia*, c. 847, no. 9, ss. 2169–2191, 2020. doi: 10.1007/s10750-020-04242-w.

[48] Q. Lin, Y. Zhang, R. Marrs, R. Sekar, X. Luo N. Wu, "Evaluating ecosystem functioning following river restoration: the role of hydromorphology, bacteria, and macroinvertebrates," *Science of The Total Environment*, c. 743, s. 140 583, 2020. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140583.

[49] K. Stefanidis ve diğ., "Disentangling the Main Components of Hydromorphological Modifications at Reach Scale in Rivers of Greece," *Hydrology*, c. 7, no. 2, s. 22, 2020. doi: 10.3390/hydrology7020022.

[50] J. U. Lemm ve diğ., "Multiple stressors determine river ecological status at the European scale: Towards an integrated understanding of river status deterioration," *Global Change Biology*, c. 27, no. 9, ss. 1962–1975, 2021. doi: 10.1111/gcb.15504.

[51] P. R. Kaufmann ve diğ., "Physical habitat in conterminous US streams and Rivers, part 2: A quantitative assessment of habitat condition," *Ecological Indicators*, c. 141, s. 109 047, 2022. doi: 10.1016/j.ecolind.2022.109047.

[52] M. Le Gall, M. Palt, J. Kail, D. Hering J. Piffady, "Woody riparian buffers have indirect effects on macroinvertebrate assemblages of French rivers, but land use effects are much stronger," *Journal of Applied Ecology*, c. 59, no. 2, ss. 526–536, 2022. doi: 10.1111/1365-2664.14071.

[53] K. Stefanidis, T. Kouvarda, A. Latsiou, G. Papaioannou, K. Gritzalis E. Dimitriou, "A Comparative Evaluation of Hydromorphological Assessment Methods Applied in Rivers of Greece," *Hydrology*, c. 9, no. 3, s. 43, 2022. doi: 10.3390/hydrology9030043.

[54] D. Vukov, M. Ilić, M. Ćuk R. Igić, "The Effect of Hydro-Morphology and Habitat Alterations on the Functional Diversity and Composition of Macrophyte Communities in the Large River," *Frontiers in Environmental Science*, c. 10, s. 863 508, 2022. doi: 10.3389/fenvs.2022.863508.

[55] M. Liro, A. Zielonka T. H. Van Emmerik, "Macroplastic fragmentation in rivers," *Environment International*, c. 180, s. 108 186, 2023. doi: 10.1016/j.envint.2023.108186.

[56] J. I. Santos, C. Silva, F. J. M. Gonçalves, J. L. Pereira B. B. Castro, "Macroinvertebrate community structure and ecological status in Portuguese streams across climatic and water scarcity gradients," *Hydrobiologia*, c. 850, no. 4, ss. 967–984, 2023. doi: 10.1007/s10750-023-05137-2.

[57] N. Wang ve diğ., "Evaluating the physical habitat of riffle-pool design in support of river habitat protection and rehabilitation," *Ecohydrology*, c. 16, no. 7, e2579, 2023. doi: 10.1002/eco.2579.

[58] C. García-García, J. D. Gilbert F. Guerrero, "Macroinvertebrate Community in a Mediterranean Mountain River: Relationship with Environmental Factors Measured at Different Spatial and Temporal Scales," *Sustainability*, c. 16, no. 5, s. 1777, 2024. doi: 10.3390/su16051777.

[59] K. Van Looy, J. Piffady, C. Cavillon, T. Tormos, P. Landry Y. Souchon, "Integrated modelling of functional and structural connectivity of river corridors for European otter recovery," *Ecological Modelling*, c. 273, ss. 228–235, 2014. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2013.11.010.

[60] M. Casado, R. Gonzalez, T. Kriechbaumer A. Veal, "Automated Identification of River Hydromorphological Features Using UAV High Resolution Aerial Imagery," *Sensors*, c. 15, no. 11, ss. 27 969–27 989, 2015. doi: 10.3390/s151127969.

[61] E. Mosner ve diğ., "Climate change and floodplain vegetation—future prospects for riparian habitat availability along the Rhine River," *Ecological Engineering*, c. 82, ss. 493–511, 2015. doi: 10.1016/j.ecoleng.2015.05.013.

[62] E. Valero, X. Álvarez J. Picos, "An assessment of river habitat quality as an indicator of conservation status. A case study in the Northwest of Spain," *Ecological Indicators*, c. 57, ss. 131–138, 2015. doi: 10.1016/j.ecolind.2015.04.032.

[63] S. Zogaris, V. Markogianni, S. C. Özeren E. Dimitriou, "Assessment of Riparian Zone and River Island Conditions in a Trans-Boundary Greenbelt: The Evros/Meriç River (Greece-Turkey)," *Fresenius Environmental Bulletin*, c. 24, no. 1, 2015.

[64] A. M. Gurnell ve diğ., "A Conceptual Model of Vegetation–hydrogeomorphology Interactions Within River Corridors," *River Research and Applications*, c. 32, no. 2, ss. 142–163, 2016. doi: 10.1002/rra.2928.

[65] L. Solari, M. Van Oorschot, B. Belletti, D. Hendriks, M. Rinaldi A. Vargas-Luna, "Advances on Modelling Riparian Vegetation—Hydromorphology Interactions," *River Research and Applications*, c. 32, no. 2, ss. 164–178, 2016. doi: 10.1002/rra.2910.

[66] P. Modrak, S. Brunzel A. W. Lorenz, "Riparian plant species preferences indicate diversification of site conditions after river restoration," *Ecohydrology*, c. 10, no. 5, e1852, 2017. doi: 10.1002/eco.1852.

[67] A. W. Lorenz, P. Haase, K. Januschke, A. Sundermann D. Hering, "Revisiting restored river reaches – Assessing change of aquatic and riparian communities after five years," *Science of The Total Environment*, c. 613-614, ss. 1185–1195, 2018. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.188.

[68] J. Jakubínskỳ, I. Pelíšek P. Cudlín, "Linking Hydromorphological Degradation with Environmental Status of Riparian Ecosystems: A Case Study in the Stropnice River Basin, Czech Republic," *Forests*, c. 11, no. 4, s. 460, 2020.

[69] M. González Del Tánago ve diğ., "Improving river hydromorphological assessment through better integration of riparian vegetation: Scientific evidence and guidelines," *Journal of Environmental Management*, c. 292, s. 112 730, 2021. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112730.

[70] A. Latsiou, T. Kouvarda, K. Stefanidis, G. Papaioannou, K. Gritzalis E. Dimitriou, "Pressures and Status of the Riparian Vegetation in Greek Rivers: Overview and Preliminary Assessment," *Hydrology*, c. 8, no. 1, s. 55, 2021. doi: 10.3390/hydrology8010055.

[71] L. Gallitelli, M. Cutini M. Scalici, "Riparian vegetation plastic monitoring: A harmonized protocol for sampling macrolitter in vegetated riverine habitats," *Science of The Total Environment*, c. 912, s. 169 570, 2024. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.169570.

[72] G. Gellert, T. Pottgiesser T. Euler, "Assessment of the structural quality of streams in Germany—basic description and current status," *Environmental Monitoring and Assessment*, c. 186, no. 6, ss. 3365–3378, 2014. doi: 10.1007/s10661-014-3623-y.

[73] T. Kiss G. Andrási, "Morphological Classification and Changes of Islands on the Dráva River, Hungary-Croatia," *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, c. 9, no. 3, ss. 33–46, 2014.

[74] E. Kristensen ve diğ., "10 years after the largest river restoration project in Northern Europe: Hydromorphological changes on multiple scales in River Skjern," *Ecological Engineering*, c. 66, ss. 141–149, 2014. doi: 10.1016/j.ecoleng.2013.10.001.

[75] Ł. Wiejaczka, A. Bucała S. Sarkar, "Human role in shaping the hydromorphology of Himalayan rivers: study of the Tista River in Darjeeling Himalaya," *Current Science*, c. 106, no. 5, ss. 717–724, 2014.

[76] K. A. Fryirs, "Developing and using geomorphic condition assessments for river rehabilitation planning, implementation and monitoring," *WIREs Water*, c. 2, no. 6, ss. 649–667, 2015. doi: 10.1002/wat2.1100.

[77] A. Bucała Ł. Wiejaczka, "Evaluation of the hydromorphological state of mountain streams under the influence of contemporary human activity (Polish Carpathians)," *Environmental Earth Sciences*, c. 73, no. 7, ss. 3451–3463, 2015. doi: 10.1007/s12665-014-3629-3.

[78] J. P. Eekhout, A. J. Hoitink, J. H. De Brouwer P. F. Verdonschot, "Morphological assessment of reconstructed lowland streams in the Netherlands," *Advances in Water Resources*, c. 81, ss. 161–171, 2015. doi: 10.1016/j.advwatres.2014.10.008.

[79] G. Ioana-Toroimac, L. Zaharia G. Minea, "Using Pressure and Alteration Indicators to Assess River Morphological Quality: Case Study of the Prahova River (Romania)," *Water*, c. 7, no. 6, ss. 2971–2989, 2015. doi: 10.3390/w7062971.

[80] L. Lespez, V. Viel, A. Rollet D. Delahaye, "The anthropogenic nature of present-day low energy rivers in western France and implications for current restoration projects," *Geomorphology*, c. 251, ss. 64–76, 2015. doi: 10.1016/j.geomorph.2015.05.015.

[81] M. Rinaldi, N. Surian, F. Comiti M. Bussettini, "A methodological framework for hydromorphological assessment, analysis and monitoring (IDRAIM) aimed at promoting integrated river management," *Geomorphology*, c. 251, ss. 122–136, 2015. doi: 10.1016/j.geomorph.2015.05.010.

[82] M. Rinaldi ve diğ., "New tools for the hydromorphological assessment of European streams," içinde *Integrative sciences and sustainable development of rivers*, GRAIE, 2015, ss. 1–3.

[83] M. C. M. Blettler ve diğ., "Linking hydro-morphology with invertebrate ecology in diverse morphological units of a large river-floodplain system," *Water Resources Research*, c. 52, no. 12, ss. 9495–9510, 2016. doi: 10.1002/2016WR019454.

[84] A. M. Gurnell ve diğ., "A multi-scale hierarchical framework for developing understanding of river behaviour to support river management," *Aquatic Sciences*, c. 78, no. 1, ss. 1–16, 2016. doi: 10.1007/s00027-015-0424-5.

[85] M. Rinaldi, A. M. Gurnell, M. G. Del Tánago, M. Bussettini D. Hendriks, "Classification of river morphology and hydrology to support management and restoration," *Aquatic Sciences*, c. 78, no. 1, ss. 17–33, Ocak 2016. doi: 10.1007/s00027-015-0438-z.

[86] B. Grizzetti, A. Pistocchi, C. Liquete, A. Udias, F. Bouraoui W. Van De Bund, "Human pressures and ecological status of European rivers," *Scientific Reports*, c. 7, no. 1, s. 205, 2017. doi: 10.1038/s41598-017-00324-3.

[87] H. Hajdukiewicz, B. Wyżga, J. Zawiejska, A. Amirowicz, P. Oglęcki A. Radecki-Pawlik, "Assessment of river hydromorphological quality for restoration purposes: an example of the application of RHQ method to a Polish Carpathian river," *Acta Geophysica*, c. 65, no. 3, ss. 423–440, 2017. doi: 10.1007/s11600-017-0044-7.

[88] M. Klösch H. Habersack, "The Hydromorphological Evaluation Tool (HYMET)," *Geomorphology*, c. 291, ss. 143–158, 2017. doi: 10.1016/j.geomorph.2016.06.005.

[89] M. Rinaldi ve diğ., "New tools for the hydromorphological assessment and monitoring of European streams," *Journal of Environmental Management*, c. 202, ss. 363–378, 2017. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.11.036.

[90] B. Belletti ve diğ., "Assessing Restoration Effects on River Hydromorphology Using the Process-based Morphological Quality Index in Eight European River Reaches," *Environmental Management*, c. 61, no. 1, ss. 69–84, 2018. doi: 10.1007/s00267-017-0961-x.

[91] N. Entwistle, G. Heritage D. Milan, "Recent remote sensing applications for hydro and morphodynamic monitoring and modelling," *Earth Surface Processes and Landforms*, c. 43, no. 10, ss. 2283–2291, 2018. doi: 10.1002/esp.4378.

[92] B. Golfieri, N. Surian S. Hardersen, "Towards a more comprehensive assessment of river corridor conditions: A comparison between the Morphological Quality Index and three biotic indices," *Ecological Indicators*, c. 84, ss. 525–534, 2018. doi: 10.1016/j.ecolind.2017.09.011.

[93] Minh Hai, Umeda Yuhi, "Morphological Changes of the Lower Tedori River, Japan, over 50 Years," *Water*, c. 11, no. 9, s. 1852, 2019. doi: 10.3390/w11091852.

[94] M. Reisenbüchler, M. D. Bui, D. Skublics P. Rutschmann, "An integrated approach for investigating the correlation between floods and river morphology: A case study of the Saalach River, Germany," *Science of The Total Environment*, c. 647, ss. 814–826, 2019. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.018.

[95] M. R. Fernandes, F. C. Aguiar, M. J. Martins, R. Rivaes M. T. Ferreira, "Long-term human-generated alterations of Tagus River: Effects of hydrological regulation and land-use changes in distinct river zones," *CATENA*, c. 188, s. 104 466, 2020. doi: 10.1016/j.catena.2020.104466.

[96] J. Keogh, R. Wilkes S. O'Boyle, "A new index for the assessment of hydromorphology in transitional and coastal waters around Ireland," *Marine Pollution Bulletin*, c. 151, s. 110 802, 2020. doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.110802.

[97] M. Rinaldi, R. Baena-Escudero, L. Nardi, I. C. Guerrero-Amador B. García-Martínez, "An assessment of the hydromorphological conditions of the middle and lower Guadalquivir River (southern Spain)," *Physical Geography*, c. 41, no. 3, ss. 254–271, 2020. doi: 10.1080/02723646.2019.1653668.

[98] K. Szoszkiewicz ve diğ., "Hydromorphological Index for Rivers: A New Method for Hydromorphological Assessment and Classification for Flowing Waters in Poland," *Journal of Ecological Engineering*, c. 21, no. 8, ss. 261–271, 2020. doi: 10.12911/22998993/126879.

[99] K. Fazelpoor, V. Martínez-Fernández D. García De Jalón, "Exploring the hydromorphological response to human pressure in Tagus River (1946–2014) by complementary diagnosis," *CATENA*, c. 198, s. 105 052, 2021. doi: 10.1016/j.catena.2020.105052.

[100] O. Gündüz C. Şimşek, "Assessment of river alteration using a new hydromorphological index," en, *Environmental Monitoring and Assessment*, c. 193, no. 4, s. 226, 2021. doi: 10.1007/s10661-021-09018-w.

[101] A. Kidová, A. Radecki-Pawlik, M. Rusnák K. Plesiński, "Hydromorphological evaluation of the river training impact on a multi-thread river system (Belá River, Carpathians, Slovakia)," *Scientific Reports*, c. 11, no. 1, s. 6289, 2021. doi: 10.1038/s41598-021-85805-2.

[102] O. Vigiak, A. Udias, A. Pistocchi, M. Zanni, A. Aloe B. Grizzetti, "Probability maps of anthropogenic impacts affecting ecological status in European rivers," *Ecological Indicators*, c. 126, s. 107 684, 2021. doi: 10.1016/j.ecolind.2021.107684.

[103] L. Devreux, M. Chapuis B. Belletti, "Hydromorphological analysis on restored Alpine braided rivers," *Geomorphology*, c. 415, s. 108 404, 2022. doi: 10.1016/j.geomorph.2022.108404.

[104] N. M. Kayitesi, A. C. Guzha G. Mariethoz, "Impacts of land use land cover change and climate change on river hydro-morphology- a review of research studies in tropical regions," *Journal of Hydrology*, c. 615, s. 128 702, 2022. doi: 10.1016/j.jhydrol.2022.128702.

[105] P. Magliulo, S. Sessa, A. Cusano, M. Beatrice, A. Giannini F. Russo, "Assessing the Morphological Quality of the Calore River (Southern Italy)," *Geographies*, c. 2, no. 3, ss. 354–378, 2022. doi: 10.3390/geographies2030023.

[106] H. Müller ve diğ., "Hydromorphological Assessment as the Basis for Ecosystem Restoration in the Nanxi River Basin (China)," *Land*, c. 11, no. 2, s. 193, 2022. doi: 10.3390/land11020193.

[107] Y. You, Z. Li, P. Gao T. Hu, "Impacts of dams and land-use changes on hydromorphology of braided channels in the Lhasa River of the Qinghai-Tibet Plateau, China," *International Journal of Sediment Research*, c. 37, no. 2, ss. 214–228, 2022. doi: 10.1016/j.ijsrc.2021.07.003.

[108] Ł. Borek, "Hydromorphological index for rivers as an indicator of land use impact on watercourses in southern Poland," *Journal of Hydrology: Regional Studies*, c. 50, s. 101 546, Ara. 2023. doi: 10.1016/j.ejrh.2023.101546.

[109] S. Mitra, M. Purkait, A. Chatterjee, J. Dey, S. K. De L. Tamang, "Analysing the role of anthropogenic intervention in reconfiguring the hydromorphology of the sub-Himalayan river systems in India: a comparative assessment between the Mahananda–Balason and Chel–Neora systems," *Aquatic Sciences*, c. 85, no. 4, s. 91, 2023. doi: 10.1007/s00027-023-00988-2.

[110] K. Pavlek, M. Plantak, I. Martinić, K. Vinković, I. Vučković I. Čanjevac, "Methodological Framework for Assessing Hydromorphological Conditions of Heavily Modified and Artificial River Water Bodies in Croatia," *Water*, c. 15, no. 6, s. 1113, 2023. doi: 10.3390/w15061113.

[111] C. Ding, D. Huang, H. Li X. Chen, "River adjustments in response to human activities: A case study of the lower Beijiang River, China," *Earth Surface Processes and Landforms*, c. 49, no. 2, ss. 887–900, 2024. doi: 10.1002/esp.5717.

[112] S. Hashemi, J. Carrivick M. Klaar, "Hydromorphological response of heavily modified rivers to flood releases from reservoirs: A case study of the Spöl River, Switzerland," *Earth Surface Processes and Landforms*, c. 49, no. 3, ss. 1028–1046, 2024. doi: 10.1002/esp.5749.

[113] L. Mao, "The geomorphological and ecological functioning of the Silala River," *WIREs Water*, c. 11, no. 1, e1691, 2024. doi: 10.1002/wat2.1691.

[114] M. C. Allaire, R. M. Vogel C. N. Kroll, "The hydromorphology of an urbanizing watershed using multivariate elasticity," *Advances in Water Resources*, c. 86, ss. 147–154, 2015. doi: 10.1016/j.advwatres.2015.09.022.

[115] M. Carolli, D. Vanzo, A. Siviglia, G. Zolezzi, M. C. Bruno K. Alfredsen, "A simple procedure for the assessment of hydropeaking flow alterations applied to several European streams," *Aquatic Sciences*, c. 77, no. 4, ss. 639–653, 2015. doi: 10.1007/s00027-015-0408-5.

[116] V. Dutta, R. Kumar U. Sharma, "Assessment of human-induced impacts on hydrological regime of Gomti river basin, India," *Management of Environmental Quality: An International Journal*, c. 26, no. 5, ss. 631–649, 2015. doi: 10.1108/MEQ-11-2014-0160.

[117] M. G. Macklin ve diğ., "A new model of river dynamics, hydroclimatic change and human settlement in the Nile Valley derived from meta-analysis of the Holocene fluvial archive," *Quaternary Science Reviews*, c. 130, ss. 109–123, 2015.

[118] K. Stefanidis, Y. Panagopoulos, A. Psomas M. Mimikou, "Assessment of the natural flow regime in a Mediterranean river impacted from irrigated agriculture," *Science of The Total Environment*, c. 573, ss. 1492–1502, 2016. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.08.046.

[119] O. Tzoraki, A.-M. De Girolamo, C. Gamvroudis N. Skoulikidis, "Assessing the flow alteration of temporary streams under current conditions and changing climate by Soil and Water Assessment Tool model," *International Journal of River Basin Management*, c. 14, no. 1, ss. 9–18, 2016. doi: 10.1080/15715124.2015.1049182.

[120] D. Vanzo, A. Siviglia, M. Carolli G. Zolezzi, "Characterization of sub-daily thermal regime in alpine rivers: quantification of alterations induced by hydropeaking," *Hydrological Processes*, c. 30, no. 7, ss. 1052–1070, 2016. doi: 10.1002/hyp.10682.

[121] M. Carolli, D. Geneletti G. Zolezzi, "Assessing the impacts of water abstractions on river ecosystem services: an eco-hydraulic modelling approach," *Environmental Impact Assessment Review*, c. 63, ss. 136–146, 2017. doi: 10.1016/j.eiar.2016.12.005.

[122] F. Colas ve diğ., "Scale dependency in the hydromorphological control of a stream ecosystem functioning," *Water Research*, c. 115, ss. 60–73, 2017. doi: 10.1016/j.watres.2017.01.061.

[123] D. Pumo, A. Francipane, M. Cannarozzo, C. Antinoro L. V. Noto, "Monthly Hydrological Indicators to Assess Possible Alterations on Rivers' Flow Regime," *Water Resources Management*, c. 32, no. 11, ss. 3687–3706, 2018. doi: 10.1007/s11269-018-2013-6.

[124] Y. Yu ve diğ., "Hydromorphological processes of Dongting Lake in China between 1951 and 2014," *Journal of Hydrology*, c. 562, ss. 254–266, 2018. doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.05.015.

[125] H. Alcayaga, S. Palma, D. Caamaño, L. Mao M. Soto-Alvarez, "Detecting and quantifying hydromorphology changes in a chilean river after 50 years of dam operation," *Journal of South American Earth Sciences*, c. 93, ss. 253–266, 2019. doi: 10.1016/j.jsames.2019.04.018.

[126] D. Pavanelli, C. Cavazza, S. Lavrnić A. Toscano, "The Long-Term Effects of Land Use and Climate Changes on the Hydro-Morphology of the Reno River Catchment (Northern Italy)," *Water*, c. 11, no. 9, s. 1831, 2019. doi: 10.3390/w11091831.

[127] J. Du, X. Wu, Z. Wang, J. Li X. Chen, "Reservoir-Induced Hydrological Alterations Using Ecologically Related Hydrologic Metrics: Case Study in the Beijiang River, China," *Water*, c. 12, no. 7, s. 2008, 2020. doi: 10.3390/w12072008.

[128] J. Pérez-Sánchez, J. Senent-Aparicio, C. Martínez Santa-María A. López-Ballesteros, "Assessment of Ecological and Hydro-Geomorphological Alterations under Climate Change Using SWAT and IAHRIS in the Eo River in Northern Spain," *Water*, c. 12, no. 6, s. 1745, 2020. doi: 10.3390/w12061745.

[129] S. S. Biswas P. Pani, "Changes in the hydrological regime and channel morphology as the effects of dams and bridges in the Barakar River, India," *Environmental Earth Sciences*, c. 80, no. 5, s. 209, 2021. doi: 10.1007/s12665-021-09490-0.

[130] X. Y. Chong, D. Vericat, R. J. Batalla, F. Y. Teo, K. S. P. Lee C. N. Gibbins, "A review of the impacts of dams on the hydromorphology of tropical rivers," *Science of The Total Environment*, c. 794, s. 148 686, 2021. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148686.

[131] G. Mezger, M. González Del Tánago L. De Stefano, "Environmental flows and the mitigation of hydrological alteration downstream from dams: The Spanish case," *Journal of Hydrology*, c. 598, s. 125 732, 2021. doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.125732.

[132] C. Papadaki E. Dimitriou, "River Flow Alterations Caused by Intense Anthropogenic Uses and Future Climate Variability Implications in the Balkans," *Hydrology*, c. 8, no. 1, s. 7, 2021. doi: 10.3390/hydrology8010007.

[133] L. Villablanca, R. J. Batalla, G. Piqué A. Iroumé, "Hydrological effects of large dams in Chilean rivers," *Journal of Hydrology: Regional Studies*, c. 41, s. 101 060, 2022. doi: 10.1016/j.ejrh.2022.101060.

[134] F. J. Segura-Méndez, J. Pérez-Sánchez J. Senent-Aparicio, "Evaluating the riparian forest quality index (QBR) in the Luchena River by integrating remote sensing, machine learning and GIS techniques," *Ecohydrology & Hydrobiology*, c. 23, no. 3, ss. 469–483, 2023. doi: 10.1016/j.ecohyd.2023.04.002.

[135] M. Leone ve diğ., "Setting an environmental flow regime under climate change in a data-limited Mediterranean basin with temporary river," *Journal of Hydrology: Regional Studies*, c. 52, s. 101 698, 2024. doi: 10.1016/j.ejrh.2024.101698.

[136] C. K. Feld, "Identification and measure of hydromorphological degradation in Central European lowland streams," *Hydrobiologia*, c. 516, ss. 69–90, 2004.

[137] I. Dixon, M. Douglas, J. Dowe, D. Burrows S. Townsend, "A rapid method for assessing the condition of riparian zones in the wet/dry tropics of northern Australia," 2005, Department of Primary Industries, Water and the Environment, Tasmania.

[138] M. Wiatkowski P. Tomczyk, "Comparative assessment of the hydromorphological status of the rivers Odra, Bystrzyca, and Ślęza using the RHS, LAWA, QBR, and HEM methods above and below the hydropower plants," *Water*, c. 10, no. 7, s. 855, 2018.

[139] W. Guo, X. Jiao, H. Zhou, Y. Zhu H. Wang, "Hydrologic regime alteration and influence factors in the Jialing River of the Yangtze River, China," *Scientific Reports*, c. 12, no. 1, s. 11 166, 2022. doi: 10.1038/s41598-022-15127-4.

[140] M. Rinaldi, N. Surian, F. Comiti M. Bussettini, "A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological Quality Index (MQI)," *Geomorphology*, c. 180, ss. 96–108, 2013.

[141] M. Feio ve diğ., "The paradox of expert judgment in rivers ecological monitoring," *Journal of Environmental Management*, c. 184, ss. 609–616, 2016. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.10.004.

[142] S. D. Langhans, J. Lienert, N. Schuwirth P. Reichert, "How to make river assessments comparable: A demonstration for hydromorphology," *Ecological indicators*, c. 32, ss. 264–275, 2013.

[143] N. A. Haron, B. Yusuf, M. S. Sulaiman, M. S. A. Razak S. Nurhidayu, "Morphological Assessment of River Stability: Review of the Most Influential Parameters," *Sustainability*, c. 14, no. 16, s. 10 025, 2022.

[144] F. Mao ve diğ., "Developing composite indicators for ecological water quality assessment based on network interactions and expert judgment," *Environmental modelling & software*, c. 115, ss. 51–62, 2019.

[145] M. A. Burgman ve diğ., "Expert Status and Performance," *PLoS ONE*, c. 6, no. 7, A. Szolnoki, ed., e22998, 2011. doi: 10.1371/journal.pone.0022998.

[146] S. F. Kılınç P. Kay, "Determination of the Most Suitable Assessment Methods of River Hydromorphology for Turkey," *Turkish Journal of Water Science and Management*, c. 2, no. 2, ss. 110–148, 2018.

[147] A. Weiß, M. Matouskova J. Matschullat, "Hydromorphological assessment within the EU-Water Framework Directive—trans-boundary cooperation and application to different water basins," *Hydrobiologia*, c. 603, no. 1, ss. 53–72, 2008. doi: 10.1007/s10750-007-9247-2.

[148] "British Standards Institution," BSI: London, EN 14614. Water Quality: Guidance Standard for Assessing the Hydromorphological Features of Rivers, 2004.

[149] "British Standards Institution," BSI: London, EN 15843. Water Quality: Guidance Standard on Determining the Degree of Modification of River Hydromorphology. 2010.

[150] "Özel İhtisas Komisyonu Raporu," On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023), Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği, 2018, T.C. Kalkınma Bakanlığı, Ankara.

[151] Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, *Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği*, https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=7221&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5, 2004.

[152] Orman ve Su İşleri Bakanlığı, *Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik*, https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=19392&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5, 2014.

[153] Tarım ve Orman Bakanlığı, *Nehir ve Göl Hidromorfolojik İzleme Tebliği*, https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/01/20210128-7.htm, 2021.

[154] Tarım ve Orman Bakanlığı, *Hidromorfolojik İzleme Tebliği*, https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2023/04/20230425-12.htm, 2023.

[155] Ö. Atasayan, P. Küçükyağcı Ö. Çalışkan, "Çayirova (Saz) Deresi Çevresinin Doğal Peyzaj Dönüşümünün Değerlendirilmesi," *Landscape Architecture 5th Congress*, 2013, ss. 1196–1202.

[156] H. N. Oruç, M. Çelen, F. Gülgen, M. S. Öncel, S. Vural B. Kılıç, "Evaluating the effects of soil data quality on the SWAT runoff prediction Performance; A case study of Saz-Cayirova catchment, Turkey," *Urban Water Journal*, c. 20, no. 10, ss. 1592–1607, 2023. doi: 10.1080/1573062X.2022.2056060.

[157] B. Kılıç, F. Gülgen, M. Çelen, S. Öncel, H. Oruç S. Vural, "Morphometric Analysis of Saz-Çayırova Drainage Basin using Geographic Information Systems and Different Digital Elevation Models," *International Journal of Environment and Geoinformatics*, c. 9, no. 2, ss. 177–186, 2022. doi: 10.30897/ijegeo.1079851.

[158] H. N. Oruc ve diğ., "Determination of Primary Surface Water Pollution Indicators by Multivariate Statistical Techniques in an Industrialized Basin," *Proceedings of the 7th World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'22)*, 2022.

[159] H. Hız, "Çayırova deresinin kirlenmesi ve Marmara denizine etkisi," Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2000.

[160] E. Kanburoğlu, "Çayırova Deresi'nde tespit edilmiş olan ağır metal iyonlarının Vicia faba L. kromozomları üzerine etkisi," Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002.

[161] H. N. Oruç, "Evaluating the effects of soil data quality on the swat model runoff prediction performance in a highly industrialized catchment; case study in Saz-Çayirova stream, Turkey," Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü, 2021.

[162] S. Vural Yurtsever, "Saz deresi su kalitesinin hidromorfolojik değişime etkisinin analitik hiyerarşi prosesi kullanılarak araştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2022.

[163] CEN, "A Guidance Standard for Assessing the Hydromorphological Features of Rivers," *European Committee for Standardization TC 230/WG 2/TG 5:N32.*, 2002.

[164] S. Mondal P. P. Patel, "Incorporating Hydromorphological Assessments in the Fluvial Geomorphology Domain for Transitioning Towards Restorative River Science—Context, Concepts and Criteria," içinde *Fluvial Systems in the Anthropocene: Process, response and modelling*, Springer, 2022, ss. 43–75.

[165] B. Kilic, F. Gulgen, M. Celen, M. S. Oncel, H. N. Oruc S. Vural, "The role of topographic maps in river hydromorphology," *30th International Cartographic Conference (ICC 2021), Abstracts of the ICA*, c. 3, 2021, ss. 1–2.

[166] E. Mosselman ve diğ., "Guidance and Decision Support for Cost-effective River and Floodplain Restoration and Its Benefits.," *Deliverable 6.3 of REFORM (REstoring Rivers FOR Effective Catchment Management), a Collaborative Project (Large-scale Integrating Project) Funded by the European Commission Within the 7th Framework Programme Under Grant Agreement 282656*, 2015.

[167] R. C. Bailey, S. Linke A. G. Yates, "Bioassessment of freshwater ecosystems using the Reference Condition Approach: comparing established and new methods with common data sets," *Freshwater Science*, c. 33, no. 4, ss. 1204–1211, 2014. doi: 10.1086/678771.

[168] W. Binder, P. Jürging J. Karl, "Natural river engineering—characteristics and limitations," *Garten und Landschaft*, c. 2, no. 83, ss. 91–94, 1983.

[169] B. L. Rhoads, "Interaction Between Scientists and Nonscientists in Community-Based Watershed Management: Emergence of the Concept of Stream Naturalization," *Environmental Management*, c. 24, no. 3, ss. 297–308, 1999. doi: 10.1007/s002679900234.

[170] M. Jungwirth, S. Muhar S. Schmutz, "Re-establishing and assessing ecological integrity in riverine landscapes," *Freshwater Biology*, c. 47, no. 4, ss. 867–887, 2002. doi: 10.1046/j.1365-2427.2002.00914.x.

[171] M. Palmer ve diğ., "Standards for ecologically successful river restoration," *Journal of Applied Ecology*, c. 42, no. 2, ss. 208–217, 2005. doi: 10.1111/j.1365-2664.2005.01004.x.

[172] S. Dufour H. Piégay, "From the myth of a lost paradise to targeted river restoration: forget natural references and focus on human benefits," *River Research and Applications*, c. 25, no. 5, ss. 568–581, 2009. doi: 10.1002/rra.1239.

[173] G. J. Brierley K. A. Fryirs, *Geomorphology and river management: applications of the river styles framework*. John Wiley & Sons, 2013.

[174] Tarım ve Orman Bakanlığı, *Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği*, https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/04/20150415-18.htm, 2015.

[175] C. L. Miller R. A. Laflamme, "The digital terrain model — theory and applications," *Photogrammetric Engineering*, c. 24, ss. 433–442, 1958.

[176] Z. Li, C. Zhu C. Gold, *Digital terrain modeling: principles and methodology*. New York: CRC press, 2005.

[177] A. Güler, "Sayısal arazi modellerinde enterpolasyon Yöntemleri," *Harita Dergisi*, c. 85, ss. 53–70, 1978.

[178] M. F. Hutchinson, "A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits," *Journal of hydrology*, c. 106, no. 3-4, ss. 211–232, 1989.

[179] T. Hengl I. S. Evans, "Mathematical and digital models of the land surface," *Developments in soil science*, c. 33, ss. 31–63, 2009.

[180] T. Gökgöz, M. Erdoğan, K. Seyrek İ. M. Ozulu, "Batı Akdeniz Havzası Sınırlarının Yüksek Doğrulukla Belirlenmesi," *Teknik Dergi*, c. 30, no. 3, ss. 9073–9105, 2019.

[181] W. Zhang D. R. Montgomery, "Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrologic simulations," *Water Resources Research*, c. 30, no. 4, ss. 1019–1028, 1994. doi: 10.1029/93WR03553.

[182] T. Hengl, "Finding the right pixel size," *Computers & geosciences*, c. 32, no. 9, ss. 1283–1298, 2006.

[183] M. Erdoğan, "Veri Türü, Kalitesi ve Üretim Yöntemine Göre Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) Standartlarının Belirlenmesi," Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.

[184] K.-T. Chang, *Introduction to geographic information systems*. New York: McGraw-Hill Cambridge, 2019.

[185] J. F. O'Callaghan D. M. Mark, "The extraction of drainage networks from digital elevation data," *Computer vision, graphics, and image processing*, c. 28, no. 3, ss. 323–344, 1984.

[186] D. M. Mark, "Automated Detection of Drainage Networks from Digital Elevation Models," *Cartographica*, c. 21, ss. 168–178, 1984.

[187] Q. Zhou X. Liu, "Error assessment of grid-based flow routing algorithms used in hydrological models," *International Journal of Geographical Information Science*, c. 16, no. 8, ss. 819–842, 2002. doi: 10.1080/13658810210149425.

[188] T. Gökgöz ve diğ., "Watershed delineation from grid DEMs in GIS: Effects of drainage lines and resolution," *Proceedings of the 10th International Specialised Conference on Diffuse Pollution and Sustainable Basin Management*, Istanbul, Türkiye, 2006, ss. 18–22.

[189] I. D. Moore, R. B. Grayson A. R. Ladson, "Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications," *Hydrological Processes*, c. 5, no. 1, ss. 3–30, 1991. doi: 10.1002/hyp.3360050103.

[190] L. L. De Sosa, H. C. Glanville, M. R. Marshall, S. A. Abood, A. P. Williams D. L. Jones, "Delineating and mapping riparian areas for ecosystem service assessment," *Ecohydrology*, c. 11, no. 2, e1928, 2018. doi: 10.1002/eco.1928.

[191] B. L. Ilhardt, E. S. Verry B. J. Palik, "Defining riparian areas," içinde *Riparian Management in Forests of the Continental Eastern United States*, New York: Lewis Publishers, 2000, ss. 23–42.

[192] L. Mason A. L. Maclean, "GIS modeling of riparian zones utilizing digital elevation models and flood height data: an intelligent approach," *Proceedings of the ASPRS 2007 Annual Conference*, 2007.

[193] S. A. Abood, A. L. Maclean L. A. Mason, "Modeling riparian zones utilizing DEMS and flood height data," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, c. 78, no. 3, ss. 259–269, 2012.

[194] S. Manfreda ve diğ., "Investigation on the use of geomorphic approaches for the delineation of flood prone areas," *Journal of Hydrology*, c. 517, ss. 863–876, 2014.

[195] S. Manfreda, M. Di Leo A. Sole, "Detection of Flood-Prone Areas Using Digital Elevation Models," *Journal of Hydrologic Engineering*, c. 16, no. 10, ss. 781–790, 2011. doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000367.

[196] M. Degiorgis, G. Gnecco, S. Gorni, G. Roth, M. Sanguineti A. C. Taramasso, "Classifiers for the detection of flood-prone areas using remote sensed elevation data," *Journal of hydrology*, c. 470, ss. 302–315, 2012.

[197] F. Nardi, E. R. Vivoni S. Grimaldi, "Investigating a floodplain scaling relation using a hydrogeomorphic delineation method," *Water Resources Research*, c. 42, no. 9, 2005WR004155, 2006. doi: 10.1029/2005WR004155.

[198] C. Samela, R. Albano, A. Sole S. Manfreda, "A GIS tool for cost-effective delineation of flood-prone areas," *Computers, Environment and Urban Systems*, c. 70, ss. 43–52, 2018.

[199] N. M. Davies, R. H. Norris M. C. Thoms, "Prediction and assessment of local stream habitat features using large-scale catchment characteristics," *Freshwater Biology*, c. 45, no. 3, ss. 343–369, 2000. doi: 10.1111/j.1365-2427.2000.00625.x.

[200] M. Parsons, M. C. Thoms R. H. Norris, "Development of a Standardised Approach to River Habitat Assessment in Australia," *Environmental Monitoring and Assessment*, c. 98, no. 1-3, ss. 109–130, 2004. doi: 10.1023/B:EMAS.0000038182.03176.97.

[201] D. Fernández, J. Barquin P. Raven, "A review of river habitat characterisation methods: indices vs. characterisation protocols," *Limnetica*, c. 30, no. 2, ss. 0217–234, 2011.

[202] R. E. Horton, "Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology," *Geological society of America bulletin*, c. 56, no. 3, ss. 275–370, 1945.

[203] J. T. Hack, *Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland*. US Government Printing Office, 1957, c. 294.

[204] A. Strahler, "Quantitative analysis of watershed geomorphology," *Eos, Transactions American Geophysical Union*, c. 38, no. 6, ss. 913–920, 1957. doi: 10.1029/TR038i006p00913.

[205] A. E. Scheidegger, "The algebra of stream-order numbers," *United States Geological Survey Professional Paper*, c. 525, ss. 187–189, 1965.

[206] R. L. Shreve, "Infinite Topologically Random Channel Networks," *The Journal of Geology*, c. 75, no. 2, ss. 178–186, 1967. doi: 10.1086/627245.

[207] E. Elbaşı H. Özdemir, "Marmara Denizi Akarsu Havzalarının Morfometrik Analizi," *Coğrafya Dergisi*, no. 36, ss. 63–84, 2018. doi: 10.26650/JGEOG418790.

[208] M. I. Malik, M. S. Bhat N. A. Kuchay, "Watershed based Drainage Morphometric Analysis of Lidder Catchment in Kashmir Valley using Geographical Information System," *Recent Research in Science and Technology*, c. 3, no. 4, ss. 118–126, 2011.

[209] F. Gülgen T. Gökgöz, "A block-based selection method for road network generalization," *International Journal of Digital Earth*, c. 4, no. 2, ss. 133–153, 2011. doi: 10.1080/17538947.2010.489972.

[210] G. Tchobanoglus, F. Burton H. D. Stensel, *Wastewater Engineering-Treatment, Disposal, Reuse*. New York: McGraw-Hill, 2003, c. 4th Edition.

[211] EU, "Rivers and lakes–typology, reference conditions and classification systems," tek. rap. Guidance document 10, 2003.

[212] C. Soanes A. Stevenson, *Concise oxford English dictionary*. Oxford university press Oxford, 2004, c. 11.

[213] B. Zolghadr-Asli, O. Bozorg-Haddad N. Van Cauwenbergh, "Multi-attribute Decision-Making: A View of the World of Decision-Making," içinde *Essential Tools for Water Resources Analysis, Planning, and Management*, O. Bozorg-Haddad, ed., Singapore: Springer Singapore, 2021, ss. 305–322. doi: 10.1007/978-981-33-4295-8_12.

[214] B. Zolghadr-Asli, O. Bozorg-Haddad, M. Enayati X. Chu, "A review of 20-year applications of multi-attribute decision-making in environmental and water resources planning and management," *Environment, Development and Sustainability*, c. 23, no. 10, ss. 14 379–14 404, 2021. doi: 10.1007/s10668-021-01278-3.

[215] J. Malczewski C. Rinner, *Multicriteria decision analysis in geographic information science*. Springer Berlin Heidelberg, 2015, c. 1. doi: 10.1007/978-3-540-74757-4.

[216] M. P. Basílio, V. Pereira, H. G. Costa, M. Santos A. Ghosh, "A systematic review of the applications of multi-criteria decision aid methods (1977–2022)," *Electronics*, c. 11, no. 11, s. 1720, 2022.

[217] S. Hajkowicz K. Collins, "A Review of Multiple Criteria Analysis for Water Resource Planning and Management," *Water Resources Management*, c. 21, no. 9, ss. 1553–1566, 2007. doi: 10.1007/s11269-006-9112-5.

[218] T. L. Saaty, "A scaling method for priorities in hierarchical structures," *Journal of mathematical psychology*, c. 15, no. 3, ss. 234–281, 1977.

[219] J. Rezaei, "Best-worst multi-criteria decision-making method," *Omega*, c. 53, ss. 49–57, 2015.

[220] F. Liang, M. Brunelli J. Rezaei, "Consistency issues in the best worst method: Measurements and thresholds," *Omega*, c. 96, s. 102 175, 2020.

[221] S. G. Meshram, E. Alvandi, V. P. Singh C. Meshram, "Comparison of AHP and fuzzy AHP models for prioritization of watersheds," *Soft Computing*, c. 23, no. 24, ss. 13 615–13 625, 2019. doi: 10.1007/s00500-019-03900-z.

[222] P. J. Van Laarhoven W. Pedrycz, "A fuzzy extension of Saaty's priority theory," *Fuzzy sets and Systems*, c. 11, no. 1-3, ss. 229–241, 1983.

[223] D. Y. Chang, "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP," *European journal of operational research*, c. 95, no. 3, ss. 649–655, 1996.

[224] B. Golany M. Kress, "A multicriteria evaluation of methods for obtaining weights from ratio-scale matrices," *European Journal of Operational Research*, c. 69, no. 2, ss. 210–220, 1993.

[225] J. Kail, S. C. Jahnig D. Hering, "Relation between floodplain land use and river hydromorphology on different spatial scales-a case study from two lower-mountain catchments in Germany," *Fundamental and applied limnology*, c. 174, no. 1, s. 63, 2009.

[226] S. S. Shapiro M. B. Wilk, "An analysis of variance test for normality (complete samples)," *Biometrika*, c. 52, no. 3-4, ss. 591–611, 1965.

[227] J. Pallant, *SPSS survival manual: A step by step guide to data analysis using IBM SPSS*. Routledge, 2020.

[228] J. Cohen, *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. New York: Routledge Academic, 1988.

[229] D. A. Sear, M. D. Newson C. R. Thorne, *Guidebook of applied fluvial geomorphology*. Thomas Telford London, 2010.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Makale

1. H. N. Oruç, M. Çelen, F. Gülgen, M. S. Öncel, S. Vural, B. Kılıç, “Evaluating the effects of soil data quality on the SWAT runoff prediction Performance; A case study of Saz-Cayirova catchment, Turkey,” *Urban Water Journal*, c. 20, no. 10, ss. 1592–1607, 2023. doi: 10.1080/1573062X.2022.2056060.

2. B. Kılıç, F. Gülgen, M. Çelen, S. Öncel, H. Oruç, S. Vural, “Morphometric Analysis of Saz-Çayırova Drainage Basin using Geographic Information Systems and Different Digital Elevation Models,” *International Journal of Environment and Geoinformatics*, c. 9, no. 2, ss. 177–186, 2022. doi: 10.30897/ijegeo.1079851

3. B. Kilic, F. Gulgen, M. Celen, "Comparative evaluation of multi-criteria decision making methods for the assessment of river hydromorphology in the Saz-Çayırova basin of Türkiye," *River Research and Applications,* 2024, (Değerlendirme Sürecinde).

Konferans Bildirisi

1. B. Kilic, F. Gulgen, M. Celen, M. S. Oncel, H. N. Oruc, S. Vural, “The role of topographic maps in river hydromorphology,” in *30th International Cartographic Conference (ICC 2021), Abstracts of the ICA,* c. 3, 2021, ss. 1–2.

2. B. Kilic, F. Gulgen, M. Celen, M. S. Oncel, H. N. Oruc, S. Vural, “Effects of resolution in basin morphometric analysis: An assessment using topographic map-derived DEMs,” in *Mediterranean Geosciences Union (MedGU),* 2023, (Basım aşamasında).