



**T.C.  
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**KIZILIRMAK VE YEŞİLIRMAK HAVZA  
KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE SU  
KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Doktora Tezi

**Bilge AYDIN ER**

Danışman  
**Prof. Dr. Yüksel ARDALI**

II. Danışman  
**Prof. Dr. Başak TAŞELİ**

SAMSUN  
2023

**T.C.  
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**KIZILIRMAK VE YEŞİLIRMAK HAVZA  
KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE SU  
KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Doktora Tezi

**Bilge AYDIN ER**

Danışman

**Prof. Dr. Yüksel ARDALI**

II. Danışman

**Prof. Dr. Başak TAŞELİ**

SAMSUN  
2023

## TEZ KABUL VE ONAYI

**Bilge AYDIN ER** tarafından, **Prof. Dr. Yüksel ARDALI** danışmanlığında hazırlanan **“KIZILIRMAK VE YEŞİLIRMAK HAVZA KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE SU KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ”** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 5.5.2023 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

|               | <b>Unvanı Adı Soyadı</b><br><b>Üniversitesi</b><br><b>Ana Bilim/Ana Sanat Dalı</b>              | <b>Sonuç</b>                                                              |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <b>Başkan</b> | Prof. Dr. Feryal AKBAL<br>Ondokuz Mayıs Üniversitesi<br>Çevre Mühendisliği Ana Bilim<br>Dalı    | <input checked="" type="checkbox"/> Kabul<br><input type="checkbox"/> Ret |
| <b>Üye</b>    | Prof. Dr. Yüksel ARDALI<br>Ondokuz Mayıs Üniversitesi<br>Çevre Mühendisliği Ana Bilim<br>Dalı   | <input checked="" type="checkbox"/> Kabul<br><input type="checkbox"/> Ret |
| <b>Üye</b>    | Prof. Dr. Zeynep EREN<br>Atatürk Üniversitesi<br>Çevre Teknolojileri Ana Bilim<br>Dalı          | <input checked="" type="checkbox"/> Kabul<br><input type="checkbox"/> Ret |
| <b>Üye</b>    | Doç. Dr. Oylum GÖKKURT<br>BAKİ<br>Sinop Üniversitesi<br>Çevre Teknolojileri Ana Bilim<br>Dalı   | <input checked="" type="checkbox"/> Kabul<br><input type="checkbox"/> Ret |
| <b>Üye</b>    | Doç. Dr. Berker FIÇICILAR<br>Ondokuz Mayıs Üniversitesi<br>Kimya Mühendisliği Ana Bilim<br>Dalı | <input checked="" type="checkbox"/> Kabul<br><input type="checkbox"/> Ret |

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ahmet TABAK  
Enstitü Müdürü

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Doktora tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

17 / 04 / 2023  
Bilge AYDIN ER

## TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

**Tez Başlığı :** KIZILIRMAK VE YEŞİLIRMAK HAVZA KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE SU KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 17.04.2023 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 18

Tek kaynak oranı : % 3 çıkmıştır.

17 / 04 / 2023  
Prof. Dr. Yüksel ARDALI

## ÖZET

### KIZILIRMAK VE YEŞİLIRMAK HAVZA KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE SU KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bilge AYDIN ER  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı  
Doktora, Mayıs/2023  
Danışman: Prof. Dr. Yüksel ARDALI  
II. Danışman: Prof. Dr. Başak TAŞELİ

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin önemli nehir havzaları olan Kızılırmak ve Yeşilirmak Havzalarındaki su kalitesinin doğal ve yapay etkiler sonucunda değişimlerinin seviyesini tespit etmek, havza karakterizasyonunu ortaya koymak ve su kalitesini değerlendirmektir.

Çalışmada, Kızılırmak'ta 8, Yeşilirmak'ta 36 su kalite gözlem istasyonuna ait 26 su kalite parametresi ölçüm sonuçları değerlendirilmiş ve her bir parametrenin uzaysal dağılım haritası hazırlanmıştır. Çalışmanın ilk basamağını havza karakterizasyonu oluşturmaktadır. Havzalardaki baskı unsurları tespit edilerek ve yük miktarları belirlenerek, Günlük Maksimum Toplam Yük (GMTY) yaklaşımı toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) parametreleri bazında uygulanmıştır. İkinci aşamada su kalitesinin genel durumu ortaya konmuş ve su kalite indeks değerleri hesaplanmıştır. Son olarak Temel Bileşen Analizi (TBA) uygulanarak nehir havzalarında uzun vadede izlenmesi önerilen su kalite parametreleri belirlenmiştir.

Çalışmanın sonuçlarına göre, Kızılırmak Havzasında 462 yerüstü su kütlesinin 147'si noktasal kaynaklı, 421'i yayılı kaynaklı, Yeşilirmak Havzasında 116 yerüstü su kütlesinin 63'ü noktasal kaynaklı, 96'sı yayılı kaynaklı baskı altında olduğu belirlenmiştir. GMTY sonuçları değerlendirildiğinde, Kızılırmak Havzası bütününde aynı deşarj standardının uygulanması durumunda yapılan hesaplama sonuçlarına göre mevcut deşarj standartlarında TN %49,06, TP %94,9 oranında, Yeşilirmak Havzasında TN %42,8, TP %83,3 oranında azaltıma gidilmesi gerekliliği ortaya konulmuştur. Karakteristik değerlere göre değerlendirme yapıldığında, her iki nehir havzası sınıf I su kalite kategorisini temsil etmektedir. Kızılırmak ve Yeşilirmak Nehir Havzalarında dünya çapında bilinen ve yaygın olarak kullanılan Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi, Kanada Çevre Bakanlığı Su Kalite İndeksi; sınırlı sayıda çalışmada kullanılan Bulanık Su Kalite İndeksi karşılaştırmalı olarak uygulanmıştır. Uygulanan indeks hesaplama modellerine göre her iki havzanın da su kalitesinin "Orta" seviye olduğu belirlenmiştir. Son olarak TBA sonuçları değerlendirildiğinde, Kızılırmak Havzası su kalitesinde ortaya çıkan toplam varyansın %78,92'sini ilk 3 eksenle ve %95,78'ini ilk 5 eksenle açıklanırken, Yeşilirmak Havzasında toplam varyansın %62,60'ı ilk 3 eksenle ve %84,45'i ilk 5 eksenle açıklanmaktadır. Bu çalışma ile su kalitesinin indeks kullanılarak değerlendirilmesinin ve havzanın zamansal ve mekânsal değişimlerini temsil eden izleme parametrelerinin belirlenmesinin faydalı olacağı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Kızılırmak Havzası, Yeşilirmak Havzası, GMTY, Su Kalitesi, Su Kalite İndeksi, Bulanık Mantık, Temel Bileşen Analizi

## ABSTRACT

### DETERMINATION OF KIZILIRMAK AND YESILIRMAK BASIN CHARACTERISTICS AND EVALUATION OF WATER QUALITY

Bilge AYDIN ER

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Environmental Engineering

Ph.D., May/2023

Supervisor: Prof. Dr. Yüksel ARDALI

II. Supervisor: Prof. Dr. Başak TAŞELİ

The objective of this research is to assess the impact of natural and artificial factors on water quality in the Kızılırmak and Yeşilirmak Basins, two significant river basins in Turkey.

The study aims to provide a comprehensive characterization of the basins and evaluate the water quality by analyzing the measurement data of 26 water quality parameters from 8 monitoring stations in Kızılırmak and 36 monitoring stations in Yeşilirmak. The first phase of the study focuses on basin characterization, which involves identifying the pressure factors and load amounts in the basins. The Total Maximum Daily Load (TMDL) approach was used to analyze total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) parameters. The second phase involves determining the overall water quality status and calculating water quality index values. Finally, Principal Component Analysis (PCA) was conducted to identify the key factors influencing the water quality. The study also produced spatial distribution maps for each water quality parameter.

Based on the findings of the study, it was observed that out of 462 surface water bodies in Kızılırmak Basin, 147 were affected by point sources of pressure, and 421 were affected by diffuse sources of pressure. In the case of Yeşilirmak Basin, out of 116 surface water bodies, 63 were impacted by point sources of pressure, and 96 were impacted by diffuse sources of pressure. According to the GMTY analysis, if the same discharge standard is applied throughout the Kızılırmak Basin, TN and TP levels should be reduced by 49.06% and 94.9%, respectively. Similarly, in the Yeşilirmak Basin, TN and TP levels should be reduced by 42.8% and 83.3%, respectively. The study also concluded that the water quality of both basins is in the "Medium" level, based on the National Sanitation Foundation Water Quality Index, the Canadian Ministry of Environment Water Quality Index, and the Fuzzy Water Quality Index. The PCA analysis revealed that the first 3 axes accounted for 78.92% of the total variance in water quality in Kızılırmak Basin, and the first 5 axes accounted for 95.78%. In the case of Yeşilirmak Basin, the first 3 axes accounted for 62.60% of the total variance, and the first 5 axes accounted for 84.45%. Furthermore, based on the characteristic values, it was determined. This study came to the conclusion that it would be beneficial to determine monitoring parameters that would reflect the temporal and spatial changes in the basin and to evaluate water quality using an index.

**Keywords:** Kızılırmak Basin, Yeşilirmak Basin, TMDL, Water Quality, Water Quality Index, Fuzzy Logic, Principal Component Analysis

## ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Doktora tez sürecinde danışmanlığımı üstlenen, her türlü akademik desteği zaman ve koşullar fark etmeksizin esirgemeyen, her daim destek olan, katkı koyan ve yön veren çok değerli hocam ve aynı zamanda akademik hayatımda birlikte çalıştığım, bana çok yönlü çalışmayı öğreten, birlikte her işi en güzel şekilde nihayete erdirdiğim, akademik ailemin en değerli kişisi olan kıymetli hocam, Sayın Prof. Dr. Yüksel ARDALI'ya,

Bilgi birikimini, tecrübesini benden asla esirgemeyen hayatımda çok kıymet verdiğim değerli kişilerden biri olan ve doktora tez sürecimde eş danışmanlığımı yürüten Sayın Prof. Dr. Başak TAŞELİ'ye,

Tez izleme dönemlerinde bakış açısı ve bilgi birikimi ile çalışmalarına katkıda bulunan, yön veren değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Feryal AKBAL ve Sayın Doç. Dr. Berker FIÇICILAR'a

Tez sürecinde ihtiyaç duyduğum veri ve doküman talebine nazikçe yanıt veren, eksik duyduğum her türlü doküman isteğimi asla geri çevirmeden en hızlı şekilde bana yardımcı olmaya çalışan DSİ Genel Müdürlüğü personeli Sayın Sahra KOCA ve Haydar ŞİMŞEK, II. Planlama Şube Müdürü Sayın Murat YAKUT'a

Tez çalışmalarımın haritalama kısmında tıkanıp nokta bana destek olan çok kıymetli asistan arkadaşlarım Sayın Rıdvan Ertuğrul YILDIRIM ve Sayın Azize UYAR'a ve bölümde birlikte çalıştığım tüm asistan arkadaşlarıma,

Hayatımda hep iyi ki var dediğim, maddi manevi her koşulda yanımda olup bana destek olan annem, babam, abime ve eğitim hayatımda bana destek olan dayım, yengem ve canım kuzenim Hazal'a

Akademik çalışmalarım boyunca koşturmalarıma ayak uyduran, bana her konuda sabırla ve sevgiyle destek olan, hayatımızda sınıandığımız her türlü güçlükte sırtımı güvenle yasladiğim, benim için en özel kişi olan, değerli eşim Nuri ER'e

Tez sürecinde fazlasıyla zaman çaldığım ama varlığıyla beni her zaman güçlü kılan biricik evladım, canım oğlum Ali Tuna ER'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bilge AYDIN ER



*Eşim ve biricik oğluma...*

# İÇİNDEKİLER

|                                                                            |      |
|----------------------------------------------------------------------------|------|
| TEZ KABUL VE ONAYI .....                                                   | i    |
| BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI .....                                       | ii   |
| TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI .....                                 | ii   |
| ÖZET .....                                                                 | iii  |
| ABSTRACT .....                                                             | iv   |
| ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....                                                    | v    |
| İÇİNDEKİLER .....                                                          | vi   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR .....                                              | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                                      | x    |
| TABLolar DİZİNİ .....                                                      | xiii |
| 1. GİRİŞ .....                                                             | 1    |
| 2. GENEL BİLGİ .....                                                       | 5    |
| 2.1. Su Kaynakları.....                                                    | 5    |
| 2.1.1. Dünya’da Su Kaynaklarının Genel Durumu .....                        | 5    |
| 2.1.2. Türkiye’ de Su Kaynaklarının Genel Durumu .....                     | 6    |
| 2.2. Su Kalitesi .....                                                     | 7    |
| 2.2.1. Su Kalitesi Yönetimi.....                                           | 9    |
| 2.2.2. Türkiye’de Su Kalitesi Yönetimine İlişkin Mevzuatlar .....          | 9    |
| 2.2.3. Su Kalitesi Sınıflandırması .....                                   | 10   |
| 2.3. Su Kalite İndeksi .....                                               | 13   |
| 2.4. Su Havzası Yönetimi .....                                             | 17   |
| 2.4.1. Havzanın Tanımı.....                                                | 17   |
| 2.4.2. Havza Yönetimi .....                                                | 19   |
| 2.4.3. Su Havzası Yönetimine Bütüncül Yaklaşım.....                        | 20   |
| 2.4.4. Su Havzalarındaki Kirletici Kaynaklar .....                         | 21   |
| 2.5. Su Havzalarını Etkileyen İklimsel Değişkenler .....                   | 22   |
| 2.5.1. Türkiye’de İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi .....        | 24   |
| 2.5.1.1. İklim Değişikliğini Etkileyen Doğal Faktörler .....               | 24   |
| 2.5.1.2. İklim Değişikliğini Etkileyen İnsan Kaynaklı Faktörler .....      | 25   |
| 3. KURAMSAL TEMELLER.....                                                  | 27   |
| 3.1. Çalışma Havzaları .....                                               | 27   |
| 3.1.1. Kızılırmak Havzası .....                                            | 27   |
| 3.1.1.1. Meteorolojik Özellikleri.....                                     | 28   |
| 3.1.1.2. Sosyoekonomik Özellikleri.....                                    | 29   |
| 3.1.1.3. Yüzeysel Su Kaynakları.....                                       | 31   |
| 3.1.2. Yeşilirmak Havzası .....                                            | 32   |
| 3.1.2.1. Meteorolojik Özellikleri.....                                     | 33   |
| 3.1.2.2. Sosyoekonomik Özellikleri.....                                    | 34   |
| 3.1.2.3. Yüzeysel Su Kaynakları.....                                       | 35   |
| 3.2. Günlük Maksimum Toplam Yük Yaklaşım (GMTY) Modeli .....               | 36   |
| 3.3. Su Kalite İndeksi .....                                               | 38   |
| 3.3.1. Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks Modeli (USV-SKİ) .....     | 39   |
| 3.3.2. Kanada Çevre Bakanlığı Su Kalite İndeks Modeli (KÇBK-SKİ).....      | 40   |
| 3.4. Bulanık Mantık Yaklaşımı .....                                        | 43   |
| 3.4.1. Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi .....                                | 45   |
| 3.4.2. Su Kalitesi Belirlenmesinde Bulanık Mantık Sisteminin Yeri .....    | 46   |
| 3.5. İstatistiksel Analizler .....                                         | 47   |
| 3.5.1. Hazen İstatistiksel Veri Değerlendirme Yöntemi .....                | 47   |
| 3.5.2. Temel Bileşen Analizi (TBA).....                                    | 49   |
| 3.5.2.1. Temel Bileşen Analizi Adımları .....                              | 50   |
| 3.5.2.2. Veri Setinin TBA Analizi için Uygunluğunun Değerlendirilmesi..... | 50   |
| 3.5.2.3. Temel Bileşen Analizi Matematik İşlem Adımları .....              | 50   |
| 3.6. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS).....                                   | 51   |

|                                                                             |            |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.6.1. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Genel Fonksiyonları .....                | 52         |
| 3.6.2. Su Havzası Yönetiminde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Yeri .....        | 53         |
| <b>4. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....</b>                                        | <b>54</b>  |
| <b>5. MATERYAL VE METOT.....</b>                                            | <b>68</b>  |
| 5.1. Çalışma Alanı.....                                                     | 69         |
| 5.2. Günlük Maksimum Toplam Yük (GMTY) Yaklaşım Modeli .....                | 72         |
| 5.2.1. Noktasal Kaynaklı Yük Hesabı.....                                    | 72         |
| 5.2.2. Yayıllı Kaynaklı Yük Hesabı.....                                     | 73         |
| 5.3. Su Kalite İndeks Hesaplaması.....                                      | 74         |
| 5.4. Bulanık Mantık Yaklaşım Modeli.....                                    | 76         |
| 5.5. Veri Analizi.....                                                      | 77         |
| 5.5.1. Karakteristik Su Kalite Sınıfı Belirleme Yöntemi .....               | 77         |
| 5.5.2. Temel Bileşen Analizi.....                                           | 78         |
| 5.6. Coğrafi Bilgi Sistemleri Haritalaması.....                             | 78         |
| <b>6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>                                         | <b>79</b>  |
| 6.1. Nehir Havzalarındaki Baskı ve Etki Değerlendirilmesi.....              | 79         |
| 6.1.1. Kızılırmak Havzasındaki Baskı ve Etkiler.....                        | 79         |
| 6.1.1.1. Yerüstü Su Kaynakları Üzerindeki Noktasal Kaynaklı Baskılar .....  | 79         |
| 6.1.1.2. Yerüstü Su Kaynakları Üzerindeki Yayıllı Kaynaklı Baskılar .....   | 83         |
| 6.1.1.3. Yeraltı Su Kaynakları Üzerindeki Baskılar .....                    | 86         |
| 6.1.1.4. Kızılırmak Havzasındaki Etkiler.....                               | 87         |
| 6.1.2. Yeşilirmak Havzasındaki Baskı ve Etkiler .....                       | 87         |
| 6.1.2.1. Yerüstü Su Kaynakları Üzerindeki Noktasal Kaynaklı Baskılar .....  | 87         |
| 6.1.2.2. Yerüstü Su Kaynakları Üzerindeki Yayıllı Kaynaklı Baskılar .....   | 91         |
| 6.1.2.3. Yeraltı Su Kaynakları Üzerindeki Baskılar .....                    | 93         |
| 6.1.2.4. Yeşilirmak Havzasındaki Etkiler.....                               | 94         |
| 6.2. Nehir Havzalarındaki GMTY Değerlerinin Belirlenmesi.....               | 94         |
| 6.2.1. Kızılırmak Havzası Günlük Maksimum Toplam Yük Değerleri .....        | 95         |
| 6.2.2. Yeşilirmak Havzası Günlük Maksimum Toplam Yük Değerleri.....         | 98         |
| 6.3. Havzalardaki Su Kalitesinin Genel Durumu.....                          | 102        |
| 6.4. İzleme Parametrelerinin Hazen Yöntemine Göre Değerlendirilmesi .....   | 142        |
| 6.5. Su Kalite İndekslerinin Değerlendirilmesi.....                         | 145        |
| 6.5.1. Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksinin Değerlendirilmesi ..... | 145        |
| 6.5.2. Kanada Çevre Bakanlığı Su Kalite İndeksinin Değerlendirilmesi.....   | 149        |
| 6.5.3. Bulanık Mantık Modeli Su Kalite İndeksinin Değerlendirilmesi .....   | 157        |
| 6.5.3.1. Kızılırmak Havzası Bulanık Mantık Modeli Su Kalite İndeksi .....   | 157        |
| 6.5.3.2. Yeşilirmak Havzası Bulanık Mantık Modeli Su Kalite İndeksi.....    | 162        |
| 6.5.4. Tüm İndekslerin Birlikte Değerlendirilmesi .....                     | 167        |
| 6.6. Temel Bileşen Analizi Sonuçları .....                                  | 169        |
| 6.6.1. Kızılırmak Havzası Temel Bileşen Analizi.....                        | 169        |
| 6.6.2. Yeşilirmak Havzası Temel Bileşen Analizi .....                       | 174        |
| <b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>                                            | <b>180</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                       | <b>191</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                        | <b>200</b> |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

|                  |                                                    |
|------------------|----------------------------------------------------|
| AB               | : Avrupa Birliği                                   |
| ABD              | : Amerika Birleşik Devletleri                      |
| AKM              | : Askıda Katı Madde                                |
| Al               | : Alüminyum                                        |
| B SKİ            | : Bulanık Su Kalite İndeksi                        |
| BOİ <sub>5</sub> | : Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı                    |
| CBS              | : Coğrafi Bilgi Sistemi                            |
| Cl               | : Klor                                             |
| COG              | : Ağırlık Merkezi Yöntemi                          |
| Cr               | : Krom                                             |
| ÇKS              | : Çevresel Kalite Standartı                        |
| ÇO               | : Çözünmüş Oksijen                                 |
| DSİ              | : Devlet Su İşleri                                 |
| Eİ               | : Elektriksel İletkenlik                           |
| EPA              | : Avrupa Çevre Ajansı                              |
| Fe               | : Demir                                            |
| FL               | : Bulanık Mantık                                   |
| GMTY             | : Günlük Maksimum Toplam Yük                       |
| KAAT             | : Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi                     |
| KÇBK SKİ         | : Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi Su Kalite İndeksi |
| KMO              | : Kaiser Meyer Olkin                               |
| KOİ              | : Kimyasal Oksijen İhtiyacı                        |
| Mn               | : Mangan                                           |
| MOM              | : Maksimumların Ortalaması                         |
| n                | : Su Kalitesi Parametre Sayısı                     |
| NH <sub>4</sub>  | : Amonyum Azotu                                    |
| NHYP             | : Nehir Havzası Yönetim Planı                      |
| Ni               | : Nikel                                            |
| NO <sub>3</sub>  | : Nitrat Azotu                                     |
| NSF              | : National Sanitation Foundation                   |
| NTU              | : Bulanıklık                                       |

|                  |                                               |
|------------------|-----------------------------------------------|
| oPO <sub>4</sub> | : Ortofosfat                                  |
| O SKİ            | : Oregon Su Kalite İndeksi                    |
| Pb               | : Kurşun                                      |
| pH               | : Potansiyel Hidrojen                         |
| SÇD              | : Su Çerçeve Direktifi                        |
| Se               | : Selenyum                                    |
| SKİ              | : Su Kalite İndeksi                           |
| Qi               | : Su Kalitesi Parametresi İçin Alt İndeks     |
| UN               | : United Nations / Birleşmiş Milletler        |
| USV SKİ          | : Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi   |
| Wi               | : Su Kalitesi Parametresiyle İlişkili Ağırlık |
| WHO              | : Dünya Sağlık Örgütü                         |
| WQI              | :Water Quality Index                          |
| TBA              | : Temel Bileşen Analizi                       |
| T                | : Sıcaklık                                    |
| TKN              | : Toplam Kjeldahl Azotu                       |
| TN               | : Toplam Azot                                 |
| TP               | :Toplam Fosfor                                |
| TÜİK             | : Türkiye İstatistik Kurumu                   |
| YSKY             | : Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği             |
| Zn               | : Çinko                                       |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 2.1. Yerüstü su kütlelerinin sınıflandırma şeması (YSKY, 2021) .....                       | 11  |
| Şekil 2.2. Su Kalite İndeksi Hesaplama Adımları (Uddin et al., 2021) .....                       | 14  |
| Şekil 2.3. Havza Bileşenleri (Üçler, 2015) .....                                                 | 17  |
| Şekil 2.4. Türkiye’deki Havzalar (DSİ, 2021) .....                                               | 18  |
| Şekil 3.1. Kızılırmak Havzası (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022).....                              | 27  |
| Şekil 3.2. Kızılırmak Havzasındaki İllerin İdari Sınırları (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022)..... | 31  |
| Şekil 3.3. Yeşilirmak Havzası Alt Havzaları (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022) .....               | 33  |
| Şekil 3.4. Yeşilirmak Havzası İl İdari Sınırları (TUBITAK MAM, 2010).....                        | 35  |
| Şekil 3.5. Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (Yıldırım, 2012).....                                  | 45  |
| Şekil 3.6. Bulanık Sistemde Su Kalitesinin Girdi-Çıktı Şeması (Ocampo-Duque et al., 2006).....   | 47  |
| Şekil 5.1. Kızılırmak Havzası İstasyon Haritalaması.....                                         | 69  |
| Şekil 5.2. Yeşilirmak Havzası İstasyon Haritalaması .....                                        | 71  |
| Şekil 5.3. Bulanık Mantık Mamdani Yaklaşım Model Girdi-Çıktı Değişkenleri .....                  | 76  |
| Şekil 6.1. Kızılırmak Havzası Yerüstü Su Kütleleri Üzerindeki Noktasal Kaynaklı Baskılar.....    | 79  |
| Şekil 6.2. Kızılırmak Havzası Yerüstü Su Kütleleri Üzerindeki Yayılı Kaynaklı Baskılar... 84     |     |
| Şekil 6.3. Yeşilirmak Havzası Yerüstü Su Kütleleri Üzerindeki Noktasal Kaynaklı Baskılar.....    | 88  |
| Şekil 6.4. Yeşil Havzası Yerüstü Su Kütleleri Üzerindeki Yayılı Kaynaklı Baskılar .....          | 91  |
| Şekil 6.5. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama pH Seviyeleri .....                                | 103 |
| Şekil 6.6. Yeşilirmak Havzası Yıllık Ortalama pH Seviyeleri.....                                 | 103 |
| Şekil 6.7. Kızılırmak Havzasında pH Değerlerinin Uzaysal Dağılımı .....                          | 104 |
| Şekil 6.8. Yeşilirmak Havzasında pH Değerlerinin Uzaysal Dağılımı .....                          | 104 |
| Şekil 6.9. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama Renk ( $m^{-1}$ ) Seviyeleri .....                 | 106 |
| Şekil 6.10. Yeşilirmak Havzası Yıllık Ortalama Renk ( $m^{-1}$ ) Seviyeleri.....                 | 106 |
| Şekil 6.11. Kızılırmak Havzasında Renk Değerlerinin Uzaysal Dağılımı .....                       | 107 |
| Şekil 6.12. Yeşilirmak Havzasında Renk Değerlerinin Uzaysal Dağılımı .....                       | 107 |
| Şekil 6.13. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama İletkenlik ( $\mu S/cm$ ) Seviyeleri .....        | 109 |
| Şekil 6.14. Yeşilirmak Havzası Yıllık Ortalama İletkenlik ( $\mu S/cm$ ) Seviyeleri.....         | 109 |
| Şekil 6.15. Kızılırmak Havzasında İletkenlik Değerlerinin Uzaysal Dağılımı .....                 | 110 |
| Şekil 6.16. Yeşilirmak Havzasında İletkenlik Değerlerinin Uzaysal Dağılımı.....                  | 110 |
| Şekil 6.17. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama Bulanıklık (NTU) Seviyeleri .....                 | 112 |
| Şekil 6.18. Yeşilirmak Havzası Yıllık Ortalama Bulanıklık (NTU) Seviyeleri.....                  | 112 |
| Şekil 6.19. Kızılırmak Havzasında Bulanıklık Değerlerinin Uzaysal Dağılımı .....                 | 113 |
| Şekil 6.20. Yeşilirmak Havzasında Bulanıklık Değerlerinin Uzaysal Dağılımı .....                 | 113 |

|                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 6.21. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama Çözünmüş Oksijen (mg/L) Seviyeleri .....             | 115 |
| Şekil 6.22. Yeşilirmak Havzası Yıllık Ortalama Çözünmüş Oksijen (mg/L) Seviyeleri.....              | 115 |
| Şekil 6.23. Kızılırmak Havzasında Çözünmüş Oksijen Değerlerinin Uzaysal Dağılımı .....              | 116 |
| Şekil 6.24. Yeşilirmak Havzasında Çözünmüş Oksijen Değerlerinin Uzaysal Dağılımı ....               | 116 |
| Şekil 6.25. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L) Seviyeleri..... | 118 |
| Şekil 6.26. Yeşilirmak Havzası Yıllık Ortalama Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L) Seviyeleri..... | 118 |
| Şekil 6.27. Kızılırmak Havzasında BOİ <sub>5</sub> Değerlerinin Uzaysal Dağılımı .....              | 119 |
| Şekil 6.28. Yeşilirmak Havzasında BOİ <sub>5</sub> Değerlerinin Uzaysal Dağılımı.....               | 119 |
| Şekil 6.29. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L) Seviyeleri.....     | 121 |
| Şekil 6.30. Yeşilirmak Havzası Yıllık Ortalama Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L) Seviyeleri.....     | 121 |
| Şekil 6.31. Kızılırmak Havzasında KOİ Değerlerinin Uzaysal Dağılımı .....                           | 122 |
| Şekil 6.32. Yeşilirmak Havzasında KOİ Değerlerinin Uzaysal Dağılımı.....                            | 122 |
| Şekil 6.33. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama Toplam Fosfor (mg/L) Seviyeleri.....                 | 124 |
| Şekil 6.34. Yeşilirmak Havzası Yıllık Ortalama Toplam Fosfor (mg/L) Seviyeleri .....                | 124 |
| Şekil 6.35. Kızılırmak Havzasında Toplam Fosfor Değerlerinin Uzaysal Dağılımı .....                 | 125 |
| Şekil 6.36. Yeşilirmak Havzasında Toplam Fosfor Değerlerinin Uzaysal Dağılımı .....                 | 125 |
| Şekil 6.37. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama Toplam Azot (mg/L) Seviyeleri .....                  | 127 |
| Şekil 6.38. Yeşilirmak Havzası Yıllık Ortalama Toplam Azot (mg/L) Seviyeleri .....                  | 127 |
| Şekil 6.39. Kızılırmak Havzasında Toplam Azot Değerlerinin Uzaysal Dağılımı .....                   | 128 |
| Şekil 6.40. Yeşilirmak Havzasında Toplam Azot Değerlerinin Uzaysal Dağılımı.....                    | 128 |
| Şekil 6.41. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama Nitrat Azotu (mg/L) Seviyeleri.....                  | 130 |
| Şekil 6.42. Yeşilirmak Havzası Yıllık Ortalama Nitrat Azotu (mg/L) Seviyeleri .....                 | 130 |
| Şekil 6.43. Kızılırmak Havzasında Nitrat Azotu Değerlerinin Uzaysal Dağılımı .....                  | 131 |
| Şekil 6.44. Yeşilirmak Havzasında Nitrat Azotu Değerlerinin Uzaysal Dağılımı.....                   | 131 |
| Şekil 6.45. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama Klor (mg/L) Seviyeleri .....                         | 133 |
| Şekil 6.46. Yeşilirmak Havzası Yıllık Ortalama Klor (mg/L) Seviyeleri.....                          | 133 |
| Şekil 6.47. Kızılırmak Havzasında Klor Değerlerinin Uzaysal Dağılımı .....                          | 134 |
| Şekil 6.48. Yeşilirmak Havzasında Klor Değerlerinin Uzaysal Dağılımı.....                           | 134 |
| Şekil 6.49. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama Demir (µg/L) Seviyeleri .....                        | 136 |
| Şekil 6.50. Yeşilirmak Havzası Yıllık Ortalama Demir (µg/L) Seviyeleri.....                         | 136 |
| Şekil 6.51. Kızılırmak Havzasında Demir Parametresi Değerlerinin Uzaysal Dağılımı .....             | 137 |
| Şekil 6.52. Yeşilirmak Havzasında Demir Parametresi Değerlerinin Uzaysal Dağılımı ....              | 137 |
| Şekil 6.53. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama Mangan (µg/L) Seviyeleri .....                       | 139 |
| Şekil 6.54. Yeşilirmak Havzası Yıllık Ortalama Mangan (µg/L) Seviyeleri.....                        | 139 |
| Şekil 6.55. Kızılırmak Havzasında Mangan Parametresi Değerlerinin Uzaysal Dağılımı ..               | 140 |

|                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 6.56. Yeşilirmak Havzasında Mangan Parametresi Değerlerinin Uzaysal Dağılımı ..                               | 140 |
| Şekil 6.57. Yeşilirmak Havzası Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks Derecelendirmesi.....                       | 146 |
| Şekil 6.58. Kızılırmak Havzası Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks Derecelendirmesi.....                       | 148 |
| Şekil 6.59. Yeşilirmak Havzası Kanada Çevre Bakanlığı Su Kalite İndeks Derecelendirmesi.....                        | 153 |
| Şekil 6.60. Kızılırmak Havzası Kanada Çevre Bakanlığı Su Kalite İndeks Derecelendirmesi.....                        | 154 |
| Şekil 6.61. Kızılırmak Girdi-Çıktı Değişkenleri.....                                                                | 158 |
| Şekil 6.62. Kızılırmak Üyelik Fonksiyonları ve Üyelik Dereceleri.....                                               | 158 |
| Şekil 6.63. Kızılırmak Kural Tabanı.....                                                                            | 159 |
| Şekil 6.64. Kızılırmak Bulanık Mantık Durulaştırma Adımı.....                                                       | 160 |
| Şekil 6.65. Yeşilirmak Girdi-Çıktı Değişkenleri .....                                                               | 162 |
| Şekil 6.66. Yeşilirmak Üyelik Fonksiyonları ve Üyelik Dereceleri .....                                              | 163 |
| Şekil 6.67. Yeşilirmak Kural Tabanı .....                                                                           | 163 |
| Şekil 6.68. Yeşilirmak Bulanık Mantık Durulaştırma Adımı.....                                                       | 164 |
| Şekil 6.69. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama İndeks Değerlerine Göre Su Kalite İndekslerinin Karşılaştırması..... | 167 |
| Şekil 6.70. Yeşilirmak Havzası Yıllık Ortalama İndeks Değerlerine Göre Su Kalite İndekslerinin Karşılaştırması..... | 167 |
| Şekil 6.71. Kızılırmak Havzası Bileşen Analizi Çizgi Grafiği .....                                                  | 171 |
| Şekil 6.72. Yeşilirmak Havzası Bileşen Analizi Çizgi Grafiği.....                                                   | 176 |

## TABLÖLAR DİZİNİ

|                                                                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tablo 2.1. Dünya'daki Su Kaynaklarının Mevcut Miktarlar ve Oranları (DSİ, 2021) .....                                                                      | 5   |
| Tablo 2.2. Türkiye'deki Su Kaynaklarının Mevcut Miktarları (DSİ, 2020) .....                                                                               | 6   |
| Tablo 2.3. Yüzey Suyuna Kirlilik Yaratan Kaynaklar (Obilonu et al., 2013) .....                                                                            | 7   |
| Tablo 2.4. Su Yönetimi ile İlgili Mevzuatlar (Mevzuat Bilgi Sistemi, 2023) .....                                                                           | 10  |
| Tablo 2.5. Kıta içi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizikokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri (YSKY, 2021) ..... | 12  |
| Tablo 2.6 Su Kalite Sınıflarının Renk Kodları (YSKY, 2021) .....                                                                                           | 12  |
| Tablo 2.7. Önemli su kalite indekslerinin karşılaştırılması (Uddin et al., 2021) .....                                                                     | 15  |
| Tablo 3.1. Kızılırmak Havzası Alt Havzalar-Bölümler-Yağış Alanı (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022) .....                                                     | 28  |
| Tablo 3.2. Kızılırmak Alt Havzaları 1971-2020 Yılları Arasındaki Dönem Yağış ve Sıcaklık Ortalamaları (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022) .....               | 29  |
| Tablo 3.3. İllerin Kızılırmak Havza İçindeki Dağılımları (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022) .....                                                            | 30  |
| Tablo 3.4. İllerin Yeşilirmak Havza İçindeki Dağılımları (TUBITAK MAM, 2010) .....                                                                         | 34  |
| Tablo 3.5. Ulusal Sanitasyon Vakfı (USV) Su Kalite İndeksinde Kullanılan Parametrelere ait Ağırlık Etki Değerleri (Uddin et al., 2021) .....               | 40  |
| Tablo 3.6. Ulusal Sanitasyon Vakfı (USV) Su Kalite İndeksi Yöntemine göre Su Kalite Değerleri (Uddin et al., 2021) .....                                   | 40  |
| Tablo 3.7. KÇBK SKİ Puanlama Sistemi (Hurley et al., 2012) .....                                                                                           | 43  |
| Tablo 3.8. İstatistiksel Veri Değerlendirme Formülleri (İkinci, 2016) .....                                                                                | 48  |
| Tablo 5.1. Aşağı Kızılırmak Alt Havzası İstasyon Bilgileri .....                                                                                           | 69  |
| Tablo 5.2. Yeşilirmak Nehir Havzası İstasyon Bilgileri .....                                                                                               | 70  |
| Tablo 5.3. Yayılı Kirlilik Değerleri Hesaplanırken Kullanılan Birim Yükler .....                                                                           | 73  |
| Tablo 5.4. USV-SKİ 8 parametreye göre modifiye edilmiş yeni etki değerleri (Wi) .....                                                                      | 75  |
| Tablo 6.1. Kızılırmak Havzası Yerüstü Su Kütelleri Üzerindeki Noktasal Kaynaklı Baskı Türleri .....                                                        | 80  |
| Tablo 6.2. Kızılırmak Havzası Yerüstü Su Kütelleri Üzerindeki Yayılı Kaynaklı Baskı Türleri .....                                                          | 84  |
| Tablo 6.3. Kızılırmak Havzası Yeraltı Su Kütelleri Üzerindeki Baskı Türleri .....                                                                          | 86  |
| Tablo 6.4. Yeşilirmak Havzası Yerüstü Su Kütelleri Üzerindeki Noktasal Kaynaklı Baskı Türleri .....                                                        | 88  |
| Tablo 6.5. Yeşilirmak Havzası Yerüstü Su Kütelleri Üzerindeki Yayılı Kaynaklı Baskı Türleri .....                                                          | 91  |
| Tablo 6.6. Yeşilirmak Havzası Yeraltı Su Kütelleri Üzerindeki Baskı Türleri .....                                                                          | 93  |
| Tablo 6.7. Kızılırmak Havzasındaki Azot ve Fosfor Yüklerinin Noktasal ve Yayılı Kaynaklara Göre Karşılaştırması .....                                      | 97  |
| Tablo 6.8. Kızılırmak Havzasında Kirlilik Kaynakları Bazında Yük Hesaplama Tablosu ...                                                                     | 98  |
| Tablo 6.9. Yeşilirmak Havzasındaki Azot ve Fosfor Yüklerinin Noktasal ve Yayılı Kaynaklara Göre Karşılaştırması .....                                      | 100 |

|                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tablo 6.10. Yeşilırmak Havzasında Kirlilik Kaynakları Bazında Yük Hesaplama Tablosu                 | 101 |
| Tablo 6.11. İstasyonlardaki İzleme Parametrelerinin Hazen Yöntemiyle Hesaplanması ....              | 143 |
| Tablo 6.12. Yeşilırmak Havzası Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeks Değerlendirmesi .....     | 145 |
| Tablo 6.13. Kızılırmak Havzası Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeks Değerlendirmesi .....     | 148 |
| Tablo 6.14. KÇBK SKİ Hesaplamasına Dahil Edilen Parametreler ve Hedef Değerler.....                 | 150 |
| Tablo 6.15. Yeşilırmak Havzası KÇBK İndeks Modelinde Hesaplanan F Fakörleri .....                   | 151 |
| Tablo 6.16. Yeşilırmak Havzası Kanada Çevre Bakanlığı Su Kalitesi İndeks Değerlendirmesi .....      | 151 |
| Tablo 6.17. Kızılırmak Havzası KÇBK İndeks Modelinde Hesaplanan F Fakörleri.....                    | 154 |
| Tablo 6.18. Kızılırmak Havzası Kanada Çevre Bakanlığı Su Kalitesi İndeks Değerlendirmesi .....      | 154 |
| Tablo 6.19. Bulanık Su Kalite İndeksi Derecelendirme Değerleri .....                                | 161 |
| Tablo 6.20. Kızılırmak Havzası Bulanık Tabanlı Su Kalite İndeksi.....                               | 161 |
| Tablo 6.21. Yeşilırmak Havzası Bulanık Tabanlı Su Kalite İndeksi .....                              | 165 |
| Tablo 6.22. Kızılırmak Havzası Tüm İndeksler İçin Korelasyon Matrisi.....                           | 168 |
| Tablo 6.23. Yeşilırmak Havzası Tüm İndeksler İçin Korelasyon Matrisi .....                          | 168 |
| Tablo 6.24. Kızılırmak Havzası KMO ve Bartlett Testi Sonuçları.....                                 | 170 |
| Tablo 6.25. Kızılırmak Havzası Bileşenlerin Toplam Varyans Dağılımları.....                         | 170 |
| Tablo 6.26. Kızılırmak Havzası Altı Faktör için Döndürülmüş Bileşen Matrisi .....                   | 171 |
| Tablo 6.27. Kızılırmak Havzası Özdeğer İstatistiğine Bağlı Bileşen Sayısı ve Varyans Yüzdeleri..... | 172 |
| Tablo 6.28. Kızılırmak Havzası Beş Faktör için Döndürülmüş Bileşen Matrisi .....                    | 173 |
| Tablo 6.29. Yeşilırmak Havzası KMO ve Bartlett Testi Sonuçları .....                                | 174 |
| Tablo 6.30. Yeşilırmak Havzası Bileşenlerin Toplam Varyans Dağılımları .....                        | 175 |
| Tablo 6.31. Yeşilırmak Havzası Altı Faktör için Döndürülmüş Bileşen Matrisi.....                    | 176 |
| Tablo 6.32. Yeşilırmak Havzası Özdeğer İstatistiğine Bağlı Bileşen Sayısı ve Varyans Yüzdeleri..... | 177 |
| Tablo 6.33. Yeşilırmak Havzası Beş Faktör için Döndürülmüş Bileşen Matrisi .....                    | 178 |

## 1. GİRİŞ

Su tartışmasız en değerli kaynaktır; bolluğu ve dağılımı, dünyadaki yaşam çeşitliliğini şekillendirmiş ve insanlığın kültür ve medeniyetini etkilemiştir. Günümüzde dünya su kaynakları ciddi baskılara maruz kalmaktadır. Bu yüzden su kalitesi hemen her ülkede hızla bozulmakta; su kıtlığı da her geçen gün yaygın bir problem haline gelmektedir.

Sürdürülebilir kalkınmanın hayat bulmasındaki en önemli unsurlardan bir tanesi “su” dur; suyun yokluğunda kalkınma olmaz, kalkınma olmazsa yoksulluk engellenemez. Koruma-kullanma dengesinin ülkenin sosyoekonomik koşullarına göre ayarlanması ve doğal kaynakların korunarak kullanılması sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle dünya üzerindeki su kaynaklarının şuursuzca ve hızla tüketilmesine ve su kalitesinin bozulmasına engel olmak için küresel ölçekte iş birliği yapılması zorunlu bir hal almaktadır (Turan & Eren, 2008).

Su kaynaklarının korunması, iyi tanımlanmış hedeflere ve tutarlı bir yönetim stratejisine sahip kavramsal bir yaklaşım gerektirir. Günümüzde su kaynaklarına ilişkin sorunlar tek başına ve ilgili tarafların katılımı olmadan çözülemez. Bu aşamada karar destek araçları, bu karmaşık görevleri basitleştirerek ve ilgili politikaların daha iyi değerlendirilmesini sağlayarak havza yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır.

Havza, bir alana yapılan müdahalenin yarattığı olumlu ve olumsuz etkilerin izlendiği, tehdit ve fırsatların uzun vadede değerlendirildiği, farklı sektör ve kaynak kullanıcılarının bir arada yer aldığı en uygun ölçektir. Su ekosistemlerinin ve bunlarla ilişkili diğer ekosistemlerin iyileştirilmesi ve bozulmalarının önlenmesi, havzalardaki su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımının teşvik edilmesiyle mümkün olmaktadır. En önemli unsurlar, havzanın çevresel özelliklerinin tanımlanması, mevcut ve gelecekteki faydalı kullanımları için gereksinimlerin belirlenmesi, kirletici kaynakların belirlenmesi ve değerlendirilmesi, mevcut kirlilik ve bozulmalar için en iyi eylem yolunun bulunmasıdır.

Avrupa Birliği’nde su kaynaklarının korunması ve yönetimine ilişkin mevzuat çok önemli bir yer tutmakta olup bu alanda yirmiye aşkın direktif bulunmaktadır. Bu direktifler arasında en önemlisi 2000 yılında yayınlanan Su Çerçeve Direktifidir. AB

adaylık sürecinde olan Türkiye'nin çevre faslı kapanış kriterlerinden bir tanesi Su Çerçeve Direktifinin uyumlaştırılması ve 25 havza için nehir havza yönetim planlarının hazırlanmasıdır. Bu kapsamda ülkemizde çalışmalar gerçekleştirilmekte olup 25 havza için Nehir Havza Yönetim Planları hazırlanmaktadır.

Su kütleleri; modellenmesi, trendlerinin belirlenmesi, sağlıklı bir izleme sisteminin kurulması, kirleticilerin azaltılması, kalitesinin korunması, mevcut ve gelecekteki durumlarının değerlendirilmesi için havza bazında miktar ve kalite açısından sürekli olarak izlenmelidir. Su kütlelerinin izlenmesi ve kalitelerinin belirlenmesi nehir havzası yönetim planları için önemli bilgiler sağlamaktadır. Mevcut durumu belirlemek, gelecekteki çevresel etkileşim sonuçlarını tahmin etmek ve bölgenin sürdürülebilir kalkınmasını geliştirmek için su kalitesi önemli bir unsur teşkil etmektedir.

Su kalitesi, istatistiksel yaklaşım, modelleme tekniği, su kalitesi indeksi ve benzeri birçok yöntem kullanılarak çevresel parametrelerle değerlendirilebilir. Bu yöntemler arasında su kalite indeksi, yüzey sularında (özellikle nehirlerde) ve yeraltı sularında yaygın olarak kullanılan su kaynakları yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır (Wu et al., 2021).

Su kalitesinin belirlenmesinde dünyadaki çeşitli resmi ve özel kuruluşlar tarafından oluşturulan, farklı kirletici parametrelerin ve değerlerin tek bir sayıya indirgenerek ifade edilmesi yaklaşımına dayanan su kalitesi indekslerinin kullanılması, karar vericiler, planlayıcılar ve tüketiciler açısından kolay anlaşılır sonuçlar ortaya koyabilmektedir. Su kalitesi kavramı, fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere pek çok farklı parametre kullanılarak ifade edilmektedir. Bu parametrelerin ayrı ayrı ve/veya birlikte değerlendirilmeye çalışılmasında çeşitli zorlukların ve yorum farklarının ortaya çıkması nedeni ile su kalite indeksleri oluşturulmuştur. Kalite indeks çalışmalarında su kalite parametrelerine ait değerler belirli kurallara göre işlenerek genellikle 0-100 aralığında ifade edilmekte ve sınıflandırılmaktadır (Uddin et al., 2021). Değişkenlerin seçimi ve su kalitesi indekslerinde değişkenlerin ağırlıklandırılması ve toplanması için prosedürlerin tanımlanması, kompleks yapının basitleştirilmesi olarak görülebilmektedir.

Su kalitesini etkileyen ve çeşitli faaliyetlerle ortaya çıkan kirletici kaynaklar noktasal veya yayılı karaktere sahiptirler. Noktasal kirleticilerin arıtılması ile havza

için bir tehdit oluşturmasının nlenebilmesine karşın yayılı kirleticilerin oluştuktan sonra kontrol edilmesi zordur. Bu nedenle yayılı kirleticiler için kaynağında kirlilik azaltmaya yönelik önlemlerin alınması gerekmektedir.

Dünyadaki su kalitesi yönetiminde, atıksu bazlı su kalitesi standartlarının kullanımı ile noktasal kirlilik kaynaklarının tespiti ve kontrolü esas alınmaktadır. Bu paradigma altında, atıksu arıtma tesisleri ve noktasal kaynaklar düzenlemelere yanıt verdikçe yüzey suyu genel olarak iyi kalitede olmaktadır. Bu düzenlemeler deşarjların belirlenen standartlara uymalarını gerektirmektedir. Bu çabalara rağmen, yayılı kirlilik kaynaklarından gelen deşarjların etkin bir şekilde kontrol edilememesi ülkelerin çoğunda arzulanan su kalitesi hedeflerine ulaşılamamasına sebep olmaktadır. Günümüzde genellikle yayılı kaynaklarla ilişkilendirilen kirleticiler, yönetmeliklerde kriter kirletici olarak kabul edilmemektedir. Bu durum, su kalitesi yönetiminin odağın, bütünsel yaklaşıma dayalı atıksu bazlı su kalitesi yönetim stratejilerinden ortam bazlı su kalitesi yönetim stratejilerine kaydırmıştır. ABD evre Koruma Ajansı (EPA) tarafından geliştirilen Toplam Maksimum Günlük Yük (GMTY) yaklaşımını bu gerçekten türetilmiş ve son yıllarda ABD’de uygulanmaya başlanmıştır. Kirleticilerin kaynağı ile akarsu içi su kalitesi koşulları arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. GMTY, bir su kütlesinin su kalitesi standartlarını aşmadan zmseyebileceğı belirli kirleticiler için izin verilen yükleri belirler ve böylece su kalitesine dayalı kontrollerin sağlanabilmesi için temel oluşturur (Fan et al., 2021).

Havza yönetimine yönelik planlar, noktasal veya yayılı kaynakların değerlendirilmesine izin veren bir karasal sistem tanımına dayalı olarak geliştirilmelidir.

Bu tez çalışması, havzaların karakteriştiğini ortaya koymak, deşarj edilen kirlilik kaynaklarını ve yüklerini belirlemek, su kaynaklarını tehdit eden kirletici faktörleri saptamak ve havzalardaki su kalite indeks değerlerini mevzuatla ilişkilendirmek, havzanın baskın kirletici özelliklerini belirtecek parametreleri tespit etmek amacıyla yürütülecektir. Çalışmada su kaynaklarının en verimli şekilde kullanımı ve sürdürülebilir havza yönetimi için uygulamada önceliklerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Mevcut kirlilik yükü (noktasal ve yayılı kaynaklar), istasyon bazlı fizikokimyasal parametre ölçüm sonuçları vb. etki faktörleri de göz önünde tutularak su kalite sınıflandırması yapılacaktır. Havzalarda baskı yaratan esas kirletici unsurlar saptanıp çözümler belirlenecektir. Çalışma, gelecek dönemlerde iklim değişikliğı ile

birlikte tehdit unsuru olan kuraklık/su kıtlığına yönelik çalışmalar yapılmasında kaynak oluşturacaktır. Kızılırmak ve Yeşilirmak Havzası sınırlarında yer alan su kütlelerinin korunması ve yönetimi için mevcut durum tespiti ve gelecek öngöröleri var olan su kaynaklarını tehdit eden unsurları gözler önüne serecektir.



## 2. GENEL BİLGİ

### 2.1. Su Kaynakları

#### 2.1.1. Dünya’da Su Kaynaklarının Genel Durumu

Dünya yüzeyinde var olan su kaynaklarının tamamı içilebilir özellikte değildir. Tatlı su kaynaklarının %2,5’i ve tuzlu su kaynaklarının %97,5’i yani yaklaşık 1 milyar 348 milyon km<sup>3</sup>’ü doğrudan insani tüketime uygun değildir. Kutup bölgesi ve çevresindeki buzullarda suyun donmuş halde bulunması doğrudan kullanımı sınırlandıran birincil faktördür. İkincil faktör ise derinlik açısından ulaşılması zor olan yeraltı sularına özellikle kurak yerlerde ve karstik alanlarda doğrudan ve kolay bir şekilde ulaşmanın mümkün olmamasıdır. Tüm bu faktörler dikkate alındığında, su kaynaklarının sadece %0,3’ü kullanılabilir durumdadır ve erişilebilir su kaynaklarının oranı ise %0,9 düzeyindedir. Tablo 2.1’de su kaynaklarının mevcut miktar ve oranları verilmiştir.

Kullanılabilir özellikteki su kaynaklarının sınırlı olmasının yanı sıra, su kaynakları çeşitli endüstriler tarafından tüketilmekte ve doğal döngüdeki değişiklikler nedeniyle azalmaktadır (Coşkun, 2022).

Tablo 2.1. Dünya’daki Su Kaynaklarının Mevcut Miktarlar ve Oranları (DSİ, 2021)

| <b>Dünya’nın Su Kaynak Potansiyeli</b> |                                     |                  |
|----------------------------------------|-------------------------------------|------------------|
| <b>Su Kaynağı</b>                      | <b>Miktar</b>                       | <b>Yüzde (%)</b> |
| Okyanus ve Denizler                    | 1.348 Milyar km <sup>3</sup>        | 97,39            |
| <b>Tatlısular</b>                      |                                     |                  |
| Buzullar                               | 27,870 Milyar km <sup>3</sup>       | 2,01             |
| Yeraltı suları                         | 8,062 Milyar km <sup>3</sup>        | 0,58             |
| Nehirler ve Göller                     | 225.000 km <sup>3</sup>             | 0,02             |
| Atmosferik Buhar                       | 13.000 km <sup>3</sup>              | 0,001            |
| <b>Toplam</b>                          | <b>1.384.120.000 km<sup>3</sup></b> | <b>100</b>       |

Günümüzde hızlı kentleşme ve nüfus artışı, bilinçsiz ve hatalı tarım uygulamaları, arıtılmamış atıksu deşarjı, su kaynaklarının dikkatsiz kullanımı, çevreye duyarsızlaşma gibi çok çeşitli faktörler tatlı su kaynaklarının kirlenmesine ve kişi başı tüketilen su miktarının her yıl azalmasına neden olmaktadır (Cantemur, 2022).

### 2.1.2. Türkiye’ de Su Kaynaklarının Genel Durumu

Türkiye, iklim, mevsim ve yağış rejimi açısından bölgesel farklılıklara rağmen yılda ortalama 574 mm yağış almaktadır (450 milyar m<sup>3</sup>). Bu suyun yarısından fazlası (265 milyar m<sup>3</sup>) buharlaşarak tekrar atmosfere salınmaktadır. DSİ’nin 2020 yılı faaliyet raporuna göre kalan 185 milyar m<sup>3</sup>’lük su miktarı yıllık su akış miktarını, 112 milyar m<sup>3</sup>’lük kısmı ise yıllık kullanılabilir su potansiyelini oluşturmaktadır (Cantemur, 2022).

Kapalı havzalardaki göllere ve denizlere dereler, nehirler ve akarsular vasıtasıyla yıllık 185 milyar m<sup>3</sup>’lük su aktarılmaktadır. Yıllık toplam kullanılabilir su potansiyelinin 18 milyar m<sup>3</sup>’ü yeraltı suyu olup, geri kalan yüzey suyunun 94 milyar m<sup>3</sup>’ü sulama, içme ve kullanma suyu temini için kullanılmaktadır. Bu miktarın 57,44 milyar m<sup>3</sup>’ü kullanılan su miktarıdır. Türkiye diğer ülkeler ile kıyaslandığında kişi başına düşen su miktarına göre su stresi yaşayan ülkeler arasında yer almaktadır. Ülkemizin kişi başı yıllık su potansiyeli 2000 yılında 1.652 m<sup>3</sup> iken 2009 yılında 1.544 m<sup>3</sup>’e, 2020 yılında ise 1.339 m<sup>3</sup>’e gerilemiştir (DSİ, 2020).

Tablo 2.2. Türkiye’deki Su Kaynaklarının Mevcut Miktarları (DSİ, 2020)

| <b>Türkiye’nin Su Kaynakları Potansiyeli</b>                              |                                   |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Yıllık ortalama yağış                                                     | 574 milyar m/yıl                  |
| Yüzölçümü                                                                 | 783.877 km <sup>2</sup>           |
| Yıllık yağış miktarı                                                      | 450 milyar m <sup>3</sup>         |
| <b>Yüzey suyu</b>                                                         |                                   |
| Yıllık yüzey akışı                                                        | 185 milyar m <sup>3</sup>         |
| Kullanılabilir Yüzey suyu                                                 | 94 milyar m <sup>3</sup>          |
| <b>Yeraltı suyu</b>                                                       |                                   |
| Yıllık çekilebilir su miktarı                                             | 18 milyar m <sup>3</sup>          |
| Toplam kullanılabilir su miktarı                                          | 112 (94+18) milyar m <sup>3</sup> |
| <b>Gelişme Durumu</b>                                                     |                                   |
| Sulama Suyu                                                               | 44,25 milyar m <sup>3</sup>       |
| İçilebilir ve Kullanılabilir Su miktarı ve Sanayide kullanılan su miktarı | 13,19 milyar m <sup>3</sup>       |
| <b>Toplam Kullanılabilir su miktarı</b>                                   | <b>57,44 milyar m<sup>3</sup></b> |

Kişi başına yıllık tatlı su erişimi açısından, Türkiye gelişmiş ülkeler ve dünya ortalamasının altında kalmaktadır. Ülkemiz kişi başına yıllık tüketilen su miktarıyla su stresi yaşayan ülkelere biridir (Çapar, 2019). Su kaynakları açısından, Türkiye

dünyanın yarı kurak bir bölgesinde yer almakta ve bölgesel, mevsimsel ve yağışa bağlı olarak önemli farklılıklar göstermektedir. Bununla birlikte iklim değişikliğinin bir sonucu olarak artan yaz sıcaklığı, sık görülen kuraklıklar, kış yağışlarının azalması, yüzey sularının kaybı, toprağın bozulması ve seller gibi olaylar su kaynaklarının mevcudiyetini doğrudan etkilemektedir (Cantemur, 2022).

## 2.2. Su Kalitesi

Su kalitesi, suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini bir dizi standartla ilişkili olarak tasvir etmek için kullanılan bir terminolojidir (Obilonu et al., 2013). Su, çevre için çok önemli bir bileşendir; insan nüfusu arttıkça, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler genişledikçe ve iklim değişikliği hidrolojik döngüde büyük değişikliklere neden olma tehdidiyle, azalan su kalitesi küresel bir endişe konusu haline gelmektedir. Su kalitesi sorunları karmaşık ve çeşitlidir ve küresel dikkati ve eylemi hak etmektedir (UN-Water, 2015).

Yüzey ve yeraltı sularının kalitesini hem doğal hem de antropojenik faktörler etkilemektedir (Uddin et al., 2021). Su kalitesini etkileyen doğal faktörler hidrolojik, atmosferik, iklimsel, topografik ve litolojik faktörlerdir (Magesh et al., 2013). Tarımsal faaliyetler, endüstriyel ve evsel deşarjlar dahil olmak üzere antropojenik faaliyetler nedeniyle besin, organik madde ve ağır metallerin neden olduğu su kirliliği, su kaynaklarını tehdit eden küresel bir sorundur (Islam et al., 2020). Antropojenik faaliyetlerin meydana getirdiği kirleticiler, nehirler ve akarsular gibi tatlı su kaynaklarının su kalitesini etki ederek, bunların tarımsal, evsel, endüstriyel ve balıkçılık amaçlı kullanımlarını sınırlayarak ekolojiyi ve insan sağlığını bozacak etkilere neden olmaktadır (Kumar et al., 2022).

Bazı önemli su kirleticileri ve olası kaynakları Tablo 2.3'te listelenmiştir. Bu kirleticilerin doğrudan veya dolaylı olarak su kütlelerine deşarjı, su kaynaklarını kirletmektedir (Obilonu et al., 2013).

Tablo 2.3. Yüzey Suyuna Kirlilik Yaratan Kaynaklar (Obilonu et al., 2013)

| Kirlilik Kaynakları                    | Potansiyel Kirletici Parametreleri                                               |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Belediye ve Kırsal Kanalizasyon</b> |                                                                                  |
| Ham Kanalizasyon                       | Askıda katı maddeler, çözünmüş katı maddeler, BOI <sub>5</sub> , besin maddeleri |
| Birincil Atıksular                     | Çözünmüş organik maddeler, yüksek BOI <sub>5</sub> besin maddeleri               |

|                                       |                                                                                                                     |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| İkincil Atıksular                     | Besin maddeleri, virüsler                                                                                           |
| Septik Tank Atıksuları                | Besin maddeleri                                                                                                     |
| Kentsel Akış                          | Mineral ve toprak çökeltileri, tuz, pestisit                                                                        |
| <b>Arazi Erozyonu</b>                 |                                                                                                                     |
| Kentsel Olmayan Toprak                | Mineral ve toprak çökeltileri, besin tuzları, pestisitler, askıda katılar, doğal unsurlar                           |
| Hayvan Atıkları                       | Askıda katı maddeler, yüksek BOI <sub>5</sub>                                                                       |
| Besin, Bakteri ve Virüs Maden Drenajı | Asitler, sediment, ağır metaller                                                                                    |
| Yağış ve Diğer                        | Katı parçacıklar, zehirli kimyasallar                                                                               |
| <b>Endüstri</b>                       |                                                                                                                     |
| Çelik Fabrikaları ve Fırınlr          | Askıda katı maddeler, yağlar, ağır metaller, organik çözücüler, ısı                                                 |
| Kâğıt Fabrikası                       | Askıda katı maddeler, yüksek BOI <sub>5</sub> , asitte çözünmüş organik köpürtücü maddeler, kimyasal ve slimisitler |
| Tekstil Fabrikası                     | Askıda katı maddeler, yüksek BOI <sub>5</sub> , ağartıcılar, boyalar, organik çözücüler, tuz, pestisit              |
| Petrol Rafinasyonu                    | Yüksek BOI <sub>5</sub> , fenoller, yağlar                                                                          |
| Motorlu Taşıtlar                      | Yağ, ağır metaller, askıda katı maddeler, alkali asitler, siyanür organik çözücüler                                 |
| Meyve Sebze İşleme                    | Yüksek BOI <sub>5</sub> , askıda katı madde                                                                         |
| Bira Fabrikaları                      | Yüksek BOI <sub>5</sub> , askıda katı madde                                                                         |
| Deri Tabakalama                       | Yüksek BOI <sub>5</sub> , askıda katı madde, alkali sülfidler                                                       |
| Et İşleme ve Kümes Hayvan Ürünleri    | Yüksek BOI <sub>5</sub> , askıda katı madde, tüyler, kemikler                                                       |
| Süt Ürünleri                          | Yüksek BOI <sub>5</sub> , peynir altı suyu, sanitasyon kimyasalları ve sabun                                        |
| Plastik ve Reçineler                  | Yüksek konsantrasyonlarda çeşitli organik maddeler                                                                  |

Bu tür kaynaklardan gelen kirlilik ve kontaminasyon, artan asitlik ve yüksek besin maddeleri, tuz, ağır metal, kimyasal ve diğer toksik madde konsantrasyonlarının yanı sıra, sularda gelişebilen zararlı patojenik organizmalar şeklinde kendini göstermektedir. Besin zenginleşmesi, tatlı su ve kıyı ekosistemini ciddi şekilde bozan yaygın su kalitesi sorunu haline gelmiştir (UNESCO, 2009).

Yerüstü su kaynaklarının (nehir, göl, akarsu, rezervuar, kıyı ve geçiş suları) ve yeraltı suyu kalitesinin etkin yönetimi, su kalitesinin korunması ve iyileştirilmesi için izlenmesi, kalite sınıflandırmasının belirlenmesinde gerekli yasal ve teknik gereklilikler sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile uyumlu bir şekilde yapılmaktadır (Kalkınma Bakanlığı, 2018).

### 2.2.1. Su Kalitesi Yönetimi

Bir nehrin su kalitesi, çeşitli fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik değişkenlerin düzenli olarak izlenmesiyle değerlendirilebilmektedir (Tian et al., 2019). Geleneksel yaklaşım, bu değişkenleri ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından oluşturulan su kalitesi kriterleri/yönergeleri ile karşılaştırmaktır (Paca et al., 2019). ABD ve Avrupa gibi dünyanın bazı gelişmiş bölgeleri, su kalitesini değerlendirmek için bir dizi entegre kriter/kılavuz kullanmaktadır. Örneğin US EPA, insan sağlığı, içme suyu ve su yaşamı gibi çeşitli su kalitesi kriterleri/yönergeleri geliştirmiştir (US EPA, 2022). Ayrıca, su kirliliğini önlemek ve azaltmak, su ortamını korumak ve iyileştirmek ve uzun vadeli sürdürülebilir kullanımını sağlamak için AB Su Çerçeve Direktifi (SÇD) uygulanmaktadır. SÇD, içme suyu, yüzme suyu, balık suyu ve yeraltı suyu gibi daha spesifik direktiflerle desteklenmektedir (SÇD, 2022). Türkiye’de, yüzey su kütlelerinin kimyasal ve ekolojik durumlarını değerlendirmek ve su kalitelerini sınıflandırmak için Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY, 2021) uygulanmaktadır. 2012 yılında yürürlüğe giren bu yönetmelik 2021 yılında AB SÇD ile uyumlu hale getirilmiştir.

Türkiye’de su kalitesini sınıflandırmak için su kaynaklarında yalnızca fiziko-kimyasal parametreler izlenmekte ve izlenen bu parametrelere göre su kalite sınıfları belirlenmektedir. Bu durum sağlıklı bir planlamanın önünde büyük bir engel oluştururken, su kaynakları için yapılması gereken koruma ve iyileştirme faaliyetlerini de sınırlamaktadır. Bu bağlamda, her bir su kaynağı için geniş kimyasal, fiziko-kimyasal, biyolojik ve hidromorfolojik kalite parametrelerini kapsayan çevresel hedefler belirlenmelidir. Gerekli yasal düzenlemelerin yapılabilmesi için, sınıflandırma için hangi araç ve prosedürlerin kullanılacağına karar verilmesi önem arz etmektedir (Kalkınma Bakanlığı, 2018).

### 2.2.2. Türkiye’de Su Kalitesi Yönetimine İlişkin Mevzuatlar

Türkiye’de 1930’lardan bu yana su yönetimine ilişkin mevzuat ve resmi yasal çerçeveler bulunmaktadır. 1980 yılından itibaren artan nüfus ve kentleşme sebebiyle artan çevre ve su kirliliğinin önlenmesi, bütün canlıların ortak varlığı olan çevrenin, sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda korunması gayesiyle 11 Ağustos 1983 tarihinde “Çevre Kanunu” yürürlüğe girmiştir (Uslu, 2022). Ülkemizdeki su yönetimi ile ilgili kanun, tebliğ ve yönetmelikler Tablo 2.4’te sunulmaktadır.

Tablo 2.4. Su Yönetimi ile İlgili Mevzuatlar (Mevzuat Bilgi Sistemi, 2023)

| <b>Mevzuat Adı</b>                                                                       | <b>Yayın Sayısı ve İlan Tarihi</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Çevre Kanunu                                                                             | RG18132 / 11.08.1983               |
| Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği                                                        | RG19919 / 04.09.1988               |
| Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği                 | RG25377 / 18.02.2004               |
| İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik                                          | RG25730 / 17.02.2005               |
| Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmelik        | RG26005 / 26.11.2005               |
| Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği                                                       | RG26047 / 08.01.2006               |
| Yüzme Suyu Kalitesinin Yönetimine Dair Yönetmelik                                        | RG26047 / 09.01.2006               |
| Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği               | RG27271 / 27.06.2009               |
| Havza Yönetim Planlarının Hazırlanması, Uygulanması ve Takibi Yönetmeliği                | RG28444 / 11.10.2012               |
| Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği                                                          | RG28483 / 30.11.2012               |
| Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik                          | RG28910 / 11.02.2014               |
| Durgun Yerüstü Kara İç Sularının Ötrofikasyona Karşı Korunmasına İlişkin Tebliğ          | RG28925 / 26.02.14                 |
| Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği                                                    | RG28962 / 04.04.2014               |
| Yerüstü Suları, Yeraltı Suları ve Sedimentten Numune Alma ve Biyolojik Örnekleme Tebliği | RG29274 / 21.02.2015               |
| İçme-Kullanma Suyu Havzalarının Korunmasına Dair Yönetmelik                              | RG30224 / 27.10.2017               |
| İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik                | RG30823 / 06.07.2019               |
| İçme Suyu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği                                        | RG31061 / 07.03.2020               |
| Yerüstü Su Kütleleri İçin Çevresel Hedeflerin Belirlenmesine İlişkin Tebliğ              | RG31192 / 21.07.2020               |

Su kaynakları koruma kullanma dengesi gözetilerek ilgili mevzuata uygun şekilde sınıflandırılmalıdır. Su kaynağının türü bu sınıflandırmanın birincil öncülüdür.

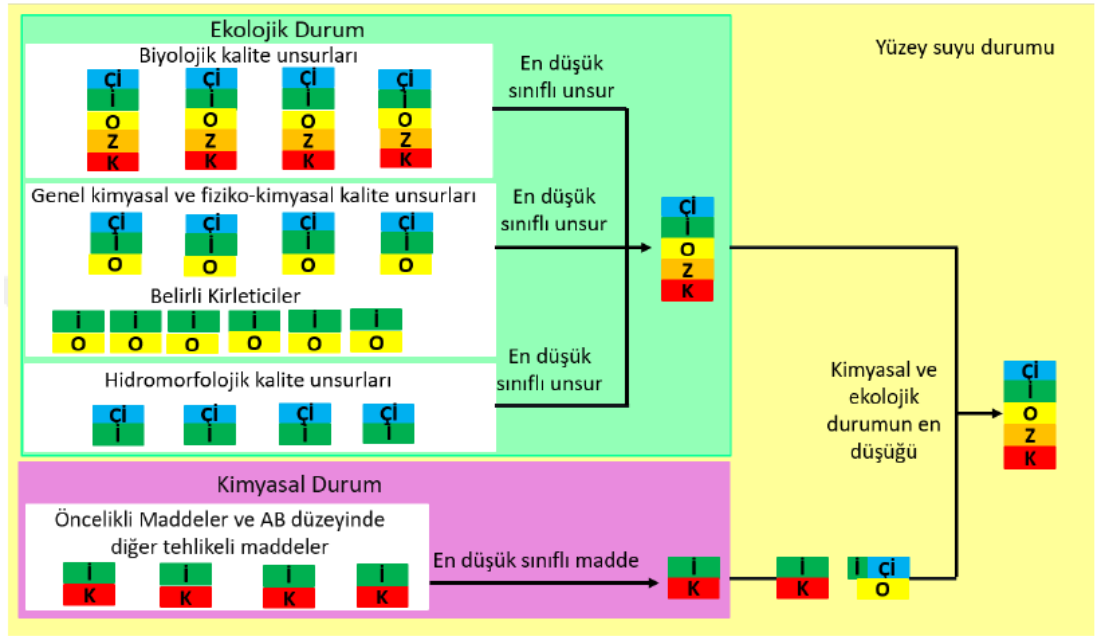
### 2.2.3. Su Kalitesi Sınıflandırması

Bir su kalitesi standardı, temsil ettiği su kütlesinin faydalı kullanım amacını işaret etmekte, bu su kütlesinin kalitesinin bozulmadan kalabilmesi için hedef kriterleri (sınırları) tanımlamakta ve kullanım amacını korumayı hedeflemektedir (Chapman, 1996).

Avrupa Birliği tarafından su kaynaklarının kalite koşullarını korumak, geliştirmek ve takip etmek amacıyla yasal çerçeve olarak Su Çerçeve Direktifi

(2000/60/EC sayılı) oluşturulmuştur. SÇD, üye devletlerin yüzey (nehir, göl, geçiş sular ve kıyı suları) ve yeraltı su kütleleri için iyi bir genel kalite elde etmek amacıyla su yönetim tedbirleri uygulamasını gerektiren ve yasal açıdan bağlayıcı bir belgedir.

SÇD, idari sınırlar yerine hidrolojik sınırlara göre su sorunlarını ele alacak entegre bir su yönetim sistemi gerekliliğinin yerine getirilmesinin ardından hazırlanmış ve uygulamaya alınmıştır. SÇD, insan baskılarının su kaynakları üzerindeki kümülatif etkilerini ve ekonomik yönleri ile çevresel gereklilikleri uyumlu hale getirme çabasını dikkate alarak çözmek için su sorunlarına bütünsel bir yaklaşım getirmektedir. Bu amaçtan yola çıkılarak su kaynağı kütlelere ayrılarak ekolojik ve kimyasal durum bakımından sınıflandırılmalı, uygun yönetim önlemleri alınarak her bir su kütleğinde iyi su statüsüne (kalite ve miktar bakımından) ulaşılması hedeflenmektedir (Uslu, 2022).



Şekil 2.1. Yerüstü su kütlelerinin sınıflandırma şeması (YSKY, 2021)

Direktife göre, kimyasal durum iyi ve kötü olmak üzere sadece iki sınıf kullanılarak değerlendirilirken, ekolojik değerlendirmede "beş sınıflı" bir ölçek kullanılır. Buna göre, bir parametre bile çevresel kalite standardını aşarsa, su kalitesi sınıfı "kötü" kategorisine dahil edilmektedir (Şekil 2.1). Bu da genellikle gerçek kalite durumunu temsil etmemektedir.

Türkiye’de yüzey suları, kıyı suları ve geçiş sularının fizikokimyasal, kimyasal, biyolojik, hidromorfolojik özelliklerinin belirlenerek sınıflandırılması, kalite ve

miktarının izlenebilirliğinin sağlanması, sürdürülebilirliğe uygun kullanım amacının ortaya konulması ve iyi su durumuna erişim için yapılacak işlemlere ilişkin usul ve esasları belirlemek üzere “Yerüstü Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği” yayımlanmıştır (Mevzuat Bilgi Sistemi, 2022). Yerüstü su kütlelerinin kalite durum sınıflandırması için Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği Ek-5’teki, Tablo-2 (Kıta içi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fiziko-kimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri) dikkate alınmaktadır ve en düşük sınıflı unsur yerüstü suyunun ekolojik durumunu ifade etmektedir. Kimyasal durumu belirlemek için öncelikli maddeler ve belirli kirleticiler için Ek-5, Tablo 4 (Yerüstü Su Kaynakları için Belirli Kirleticiler ve Çevresel Kalite Standartları) ve Tablo 5’te (Yerüstü Su Kaynakları için Öncelikli Maddeler ve Çevresel Kalite Standartları) yer alan YO-ÇKS ve MAK-ÇKS’ye göre değerlendirme yapılmaktadır (Uslu, 2022). Tablo 2.5.’de yerüstü su kütlelerinin kalite durum sınıflandırmasına dahil edilen parametreler ve su kalite sınıfları verilmiştir (YSKY, 2021).

Tablo 2.5. Kıta içi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizikokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri (YSKY, 2021)

| Su Kalite Parametreleri                | Su Kalite Sınıfları                                         |                                                           |                                                             |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
|                                        | I (çok iyi)                                                 | II (iyi)                                                  | III (orta)                                                  |
| Renk (m <sup>-1</sup> )                | RES 436 nm: ≤ 1,5<br>RES 525 nm: ≤ 1,2<br>RES 620 nm: ≤ 0,8 | RES 436 nm: ≤ 3<br>RES 525 nm: ≤ 2,4<br>RES 620 nm: ≤ 1,7 | RES 436 nm: ≤ 4,3<br>RES 525 nm: ≤ 3,7<br>RES 620 nm: ≤ 2,5 |
| pH                                     | 6-9                                                         | 6-9                                                       | 6-9                                                         |
| İletkenlik                             | <400                                                        | 1000                                                      | >1000                                                       |
| Yağ ve Gres (mg/L)                     | <0,2                                                        | 0,3                                                       | >0,3                                                        |
| Çözünmüş Oksijen (mg/L)                | >8                                                          | 6                                                         | <6                                                          |
| KOI (mg/L)                             | <25                                                         | 50                                                        | >50                                                         |
| BOI <sub>5</sub> (mg/L)                | <4                                                          | 8                                                         | >8                                                          |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/L) | <0,2                                                        | 1                                                         | >1                                                          |
| NO <sub>3</sub> -N (mg/L)              | <3                                                          | 10                                                        | >10                                                         |
| TKN (mg/L)                             | <0,5                                                        | 1,5                                                       | >1,5                                                        |
| TN (mg/L)                              | <3,5                                                        | 11,5                                                      | >11,5                                                       |
| PO <sub>4</sub> -P (mg/L)              | <0,05                                                       | 0,16                                                      | >0,16                                                       |
| TP (mg/L)                              | <0,08                                                       | 0,2                                                       | >0,2                                                        |
| Florür (µg/L)                          | ≤ 1000                                                      | 1500                                                      | >1500                                                       |
| Mangan (µg/L)                          | ≤ 100                                                       | 500                                                       | >500                                                        |
| Selenyum (µg/L)                        | ≤ 10                                                        | 15                                                        | >15                                                         |
| Sülfür (µg/L)                          | ≤ 2                                                         | 5                                                         | >5                                                          |

Kalite sınıflarının renk kodları Tablo 2.6’da yer almaktadır.

Tablo 2.6 Su Kalite Sınıflarının Renk Kodları (YSKY, 2021)

| Su Kalitesi | Renk      |
|-------------|-----------|
| Sınıf I     | (Çok iyi) |

|           |        |
|-----------|--------|
| Sınıf II  | (İyi)  |
| Sınıf III | (Orta) |

Tablo 2.6'ya göre su kalite sınıfı çok iyi (mavi), iyi (yeşil) ve orta (sarı) olarak 3 sınıf ölçeğinde değerlendirilmektedir (YSKY, 2021).

### 2.3. Su Kalite İndeksi

Su kalitesi indeksi (SKİ), suyun genel kalitesi için, farklı su kalitesi parametrelerine dayalı olarak geliştirilmiştir. Temel amacı, su kalitesiyle ilgili karmaşık verileri kullanılabilir ve erişilebilir bilgilere dönüştürmektir (Bashir et al., 2020). SKİ, yalnızca su kalitesi veri setlerinin karmaşıklığını önemli ölçüde azaltmakla kalmayan, aynı zamanda tek boyutsuz bir sayı kullanarak bir su kütlesinin saflık ve kirlilik seviyelerinin özetini sağlayan matematiksel bir araç olarak kabul edilmektedir (Akhtar et al., 2021).

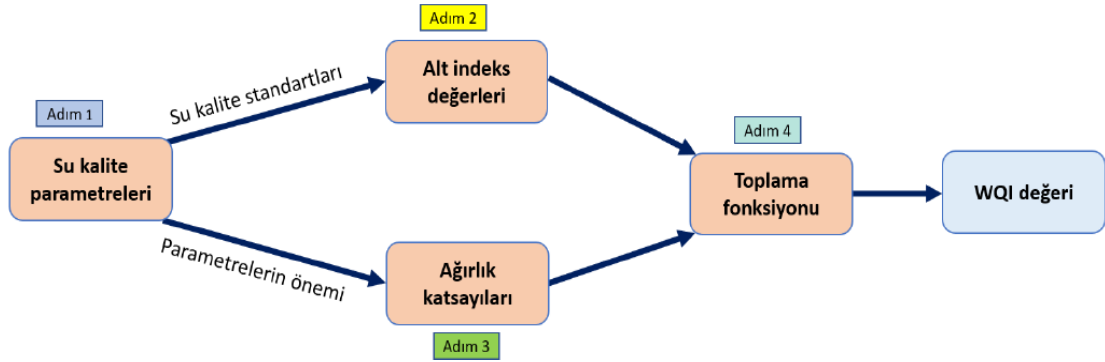
Su kütlesinin kalite değerlendirmesinin üç temel adımı; amaçların belirlenmesi, parametrelerin seçilmesi ve sonuçların değerlendirilmesinden oluşmaktadır. Değerlendirme yaklaşımını ve bakış açısını tanımlayan kılavuzlar, amaçları belirlemek için kullanılır. Amaçlar belirlendikten sonra, su kütlesinin fiziksel ve biyolojik şartlarını açıklayan yüzlerce bileşen ve parametre içerisinde kütlenin tamamını temsil edebilecek tutarlı bir parametre seti seçilmelidir. Her parametre suyun farklı bir özelliğini ortaya çıkararak değerlendirme aşamasını zorlaştırabilir. Fazla miktardaki su kalite verilerini tek bir sayıya indirgeyerek su kalitesinin değerlendirilme aşamaları basitleştirilir ve elde edilen bu sayısal çıktı, bilgilerin analiz edilmesini daha hızlı hale getirmektedir (Taner, 2007).

Su kalite indeksi modeli kullanımı ilk olarak Horton (1965) ve Brown ve ark. (1970) tarafından önerilmiştir. O zamandan beri, SKİ'lerin hesaplanması için birçok farklı yöntem geliştirilmiştir. Genel olarak, hepsi benzer fiziksel ve kimyasal parametreleri göz önünde bulundurur, ancak parametre değerlerinin istatistiksel olarak entegre edilme ve yorumlanma biçimleri farklıdır (Debels et al., 2005).

Horton, 1960'larda, çoğu su kütlesinde önemli saydığı 10 su kalitesi parametresine dayanan ilk SKİ modelini geliştirmiştir (Horton, 1965). Brown, Ulusal Sanitasyon Vakfı'nın desteğiyle, Horton'un SKİ modelinin daha titiz bir versiyonu olan USV-SKİ'yi geliştirmiştir (Abbasi & Abbasi, 2012).

Su kalite indeksinin hesaplanmasında genel olarak 4 adım kullanılmaktadır ve

bu adımlar Şekil 2.3'te özetlenmektedir.



Şekil 2.2. Su Kalite İndeksi Hesaplama Adımları (Uddin et al., 2021)

- Adım 1, mevcut veriler göz önünde bulundurularak uzman görüşü (Delphi tekniği) veya istatistiksel yöntemler kullanılarak su kalitesi üzerinde en etkili parametrelerin seçimidir.
- Adım 2, farklı birimlere sahip parametreleri ortak bir ölçeğe dönüştürmek için alt indeks değerlerinin belirlenmesidir. Bunun için derecelendirme eğrileri, uzman görüşü ve istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır.
- Adım 3, parametrelerin genel su kalitesine olan önem derecelerine göre 0 ile 1 arasında bir sayı atanarak ağırlık değerlerinin belirlenmesidir. Bu adım tüm indeksler için geçerli değildir.
- Adım 4, alt indeks değerleri toplanarak genel su kalite indeks değerinin belirlenmesidir (Sutadian et al., 2016)

Su kalitesi indeksinin geliştirilmesinde çeşitli fizikokimyasal ve bakteriyolojik kriterler kullanılmaktadır. Bir bölgenin genel su kalitesini etkili bir şekilde değerlendirmek için çeşitli su kalitesi indeksleri oluşturulmuştur. Çeşitli ulusal ve uluslararası kuruluşlar, kirliliğin önlenmesi ve değerlendirilmesi için çok sayıda su kalitesi göstergesini dikkate alarak, çeşitli uygulamalar için kendi su kalitesi standartlarını oluşturur (Alver & Baştürk, 2019).

Model yapısındaki farklılıklar, dahil edilen parametreler ve bunlarla ilişkili ağırlıklar ve alt indekisleme ve toplama için kullanılan yöntemler ile birçok farklı SKİ model mevcuttur. SKİ modeli bileşenlerinin çoğu, uzman görüşlerine ve mevzuatlara dayalı olarak geliştirilmiştir (Sutadian et al., 2016).

Geliştirilen diğer birkaç SKİ modeli Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks (USV-SKİ) modeline dayanmaktadır. 1970'te İskoç Araştırma Geliştirme

Departmanı (IAGD), yine bir şekilde Brown'ın modeline dayanan ve bunu nehir suyu kalitesinin değerlendirilmesi için kullanan IAGD-SKİ'yi geliştirmiştir. Ross İndeksi (1977), British Colombia İndeksi (1995) ve Dalmaçya İndeksi (1999), IAGD-SKİ'nin sonraki türevleridir. Steinhart ve ark. (1982) daha sonra Great Lakes ekosistemlerindeki su kalitesinin değerlendirilmesi için Çevresel Kalite İndeksi modelini geliştirmiştir (Uddin et al., 2021). Bazı önemli su kalite indeks modelleri ve bileşenleri Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.7. Önemli su kalite indekslerinin karşılaştırılması (Uddin et al., 2021)

| Su Kalite İndeks Modeli                                                   | Model Bileşenleri<br>Parametre Sayısı ve Seçim Süreci                                                                                 | Alt İndeksleme Prosedürü                                                                                                                                                                             | Parametre Ağırlıklandırma                                                                                                                 | Değerlendirme Ölçeklendirme                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Horton İndeksi (1960) <sup>a</sup>                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>8 parametre</li> <li>Parametrelerin önemi ve verilerin kullanılabilirliği</li> </ul>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>alt indeks değeri olarak kullanılan parametre değeri ve atanan 0 ile 100 arasındaki alt indeks</li> </ul>                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>sabit ve eşit olmayan sistem (Ç.O için 4 ve diğer parametreler için 1) önerilir</li> </ul>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Çok iyi (91–100)</li> <li>- İyi (71–90)</li> <li>- Zayıf (51–70)</li> <li>- Kötü (31–50)</li> <li>- Çok kötü (0–30)</li> </ul>                                                                              |
| USV indeksi (1965) <sup>b</sup>                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>11 parametre</li> <li>Delphi tekniği ile parametre belirleme</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>kullanılan su kalitesi standart kılavuzu ve 0 ile 1 arasında değişen ölçek; Parametre değeri &lt; standart = 1, Parametre değeri &gt; standart = 0</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>uzman görüşü ve ağırlık değerinin toplamı verilen 1'e eşittir</li> </ul>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- mükemmel (90–100)</li> <li>- iyi (70–89)</li> <li>- orta (50–69)</li> <li>- kötü (25–49)</li> <li>- çok kötü (0–24)</li> </ul>                                                                              |
| IAGD indeksi (1970) <sup>c</sup>                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>10 parametre</li> <li>Delphi tekniği ile parametre belirleme</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Uzman görüşü kullanılır ve 0 ile 100 arasındaki değer SRDD tarafından tavsiye edilir</li> </ul>                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>uzman görüşü ve ağırlık değerinin toplamı verilen 1'e eşittir</li> </ul>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- temiz (90–100)</li> <li>- iyi (80–89)</li> <li>- arıtım ile iyi (70–79)</li> <li>- tolere edilebilir (40–69)</li> <li>- kirli (30–39)</li> <li>- çok kirli (20–29)</li> <li>- domuz atığı (0–19)</li> </ul> |
| Dinius indeksi (1972) <sup>d</sup> USV indeksinin değiştirilmiş versiyonu | <ul style="list-style-type: none"> <li>10 parametre</li> <li>Delphi tekniği ile parametre belirleme</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>doğrudan alt indeks değeri olarak atanan parametre değeri</li> </ul>                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>eşit olmayan ağırlık kullanılır</li> <li>Ağırlıklandırma değerinin toplamı 10'a eşittir</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Arıtma gerekli değil (90–100)</li> <li>- küçük arıtma gerekli (80–90)</li> <li>- arıtma gerekli (50–80)</li> <li>- riskli (40–50)</li> </ul>                                                                |
| Ross İndeksi (1977) <sup>e</sup>                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>4 genel su kalite parametresi</li> <li>Delphi yöntemi</li> </ul>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Uzman kararına dayalı alt indeks sistemi</li> </ul>                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>uzman bazlı ve toplam ağırlık değeri verilen 1'e eşittir</li> </ul>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kategoriler belirtilmedi</li> </ul>                                                                                                                                                                         |
| Oregon İndeksi (1980) <sup>f</sup> USV indeksinin geliştirilmiş versiyonu | <ul style="list-style-type: none"> <li>8 parametre</li> <li>Delphi tekniği ile parametre belirleme</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alt indeks, ortalama matematiksel fonksiyonlar kullanılarak tahmin edilmiştir.</li> </ul>                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ağırlık faktörleri olarak doğrudan kullanılan alt indeks değerleri</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- mükemmel (90–100)</li> <li>- iyi (85–89)</li> <li>- orta (80–84)</li> <li>- zayıf (60–79)</li> <li>- çok zayıf (&lt;60)</li> </ul>                                                                          |
| British Colombia Index(1995)                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>En az 10 parametre</li> <li>Yaygın izlenen parametreler</li> <li>Açık seçim sistemi</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Uzman görüşüne göre atanan alt indeks</li> </ul>                                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Eşit olmayan ve uzman temelli</li> </ul>                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mükemmel (0–3)</li> <li>- İyi (4–17)</li> <li>- Orta (18–43)</li> <li>- Sınırdan (44–59)</li> <li>- Zayıf (60–100)</li> </ul>                                                                               |
| Dalmaçya                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>8 parametre</li> </ul>                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kullanılan parametre</li> </ul>                                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Sabit ve eşit olmayan</li> </ul>                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kategoriler</li> </ul>                                                                                                                                                                                      |

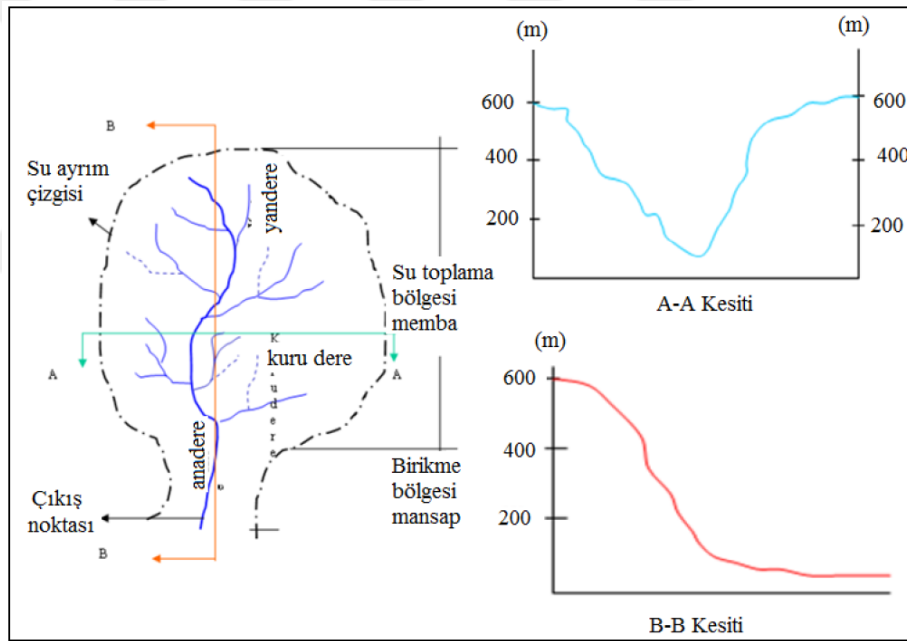
|                                                                        |                                                                                                                         |                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                      |                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| İndeksi (1999) <sup>m</sup><br>IAGD indeksinin değiştirilmiş versiyonu | • Delphi tekniği                                                                                                        | değeri doğrudan alt indeks olarak                                                                                             | ağırlık uzmanlar tarafından belirlenen<br>• Ağırlık değerinin toplamı 1'e eşittir                                                                                                    | belirtilmedi                                                                                             |
| KÇBK (2001) <sup>n</sup><br>BC SKİ indeksinin düzeltilmiş versiyonu    | • 4 su kalite parametresi<br>• Delphi tekniği                                                                           | • Gerekli değil                                                                                                               | • Gerekli değil                                                                                                                                                                      | - Mükemmel (95 – 100)<br>- İyi (80 – 94)<br>- Orta (65 – 79)<br>- Marjinal (45 – 65)<br>- Zayıf (0 – 44) |
| Liou Index (2004) <sup>o</sup>                                         | • 13 parametre<br>• Parametreler seçimi çevresel temelli ve sağlıksal faktörler önemli                                  | • Gerçek parametreler doğrudan konsantrasyon alt indeks olarak kullanılır                                                     | • Eşit Ağırlık sistemi<br>• Ağırlıklandırma faktörleri derecelendirme kullanılarak oluşturulur gösterilen eğriler standarda dayalı su kalite değişkenleri kılavuzu                   | • Belirtilmemiş                                                                                          |
| Said İndeksi (2004) <sup>p</sup>                                       | • 5 parametre<br>• Çevresel açıdan önemli parametreler öncelikli                                                        | • Alt dizin olarak kullanılan parametre değeri                                                                                | • Gerekli değil                                                                                                                                                                      | - En yüksek saflık (3)<br>- Marjinal kalite (<2)<br>- Kalitesiz (<1)                                     |
| Malaysian İndeksi (2007) <sup>q</sup>                                  | • 6 parametre                                                                                                           | • Doğrudan parametre değeri alt indeks olarak kullanılır ve 0 ile 100 arasında değişir                                        | • Eşit olmayan ve yakın sistem<br>• Uzman tabanlı<br>• Ağırlık toplamı 1'dir                                                                                                         | • Parametre tabanlı bireysel derecelendirme kullanılan ölçek                                             |
| Hanh İndeksi (2010) <sup>r</sup>                                       | • 8 parametre<br>• İzleme verilerine dayalı                                                                             | • Derecelendirme eğrisi tabanlı güneş indeksleme sistemi<br>• Dayalı geliştirilen eğri Vietnam yüzey suyu kalite standartları | • Gerekli değil                                                                                                                                                                      | - Mükemmel (91–100)<br>- İyi (76–90)<br>- Orta (51–75)<br>- Marjinal (26–50)<br>- Zayıf (<25)            |
| West Java İndeksi (2017) <sup>t</sup>                                  | • 13 parametre<br>• Parametreler izlemeye dayalı veri kullanılabilirliği ve standartların karşılaştırılması ile seçildi | • Basit kullanılır matematiksel fonksiyon<br>• Alt indeksleme oluşturmak için kabul edilen kılavuz değer                      | • Çoklu karar verme araçları<br>Analitik Hiyerarşi gibi Süreç (AHP).<br>• Sabit ve eşit olmayan ağırlık değerler<br>• Uzman temelli görüş<br>• Ağırlık değerlerinin toplamı 1'e eşit | - Mükemmel (90–100)<br>- İyi (90–75)<br>- Orta (75–50)<br>- Marjinal (50–25)<br>- Zayıf (25–5)           |

Alt indeks sürecinin birincil amacı, parametre konsantrasyonlarını parametre alt indeksleri olarak bilinen birimsiz değerlere dönüştürmektir (Abbasi & Abbasi, 2012). Birkaç SKİ modeli, alt indeksleri oluşturmak için su kalitesinin standart kılavuz değerlerini kullanmaktadır (Sutadian et al., 2016). İncelenen modellerin çoğu bu adımı içerirken, KÇBK modeli ve Dojildo modeli bu adımı atlamış ve alt indeksler yerine doğrudan parametre konsantrasyonlarını kullanarak nihai toplama işlevini gerçekleştirmiştir (Uddin et al., 2021).

## 2.4. Su Havzası Yönetimi

### 2.4.1. Havzanın Tanımı

Bir akarsuyun kaynağı ile son bulduğu nokta arasında su kaynağı olan tüm kollarını içine alan ve insanları, kırsal ve kentsel yerleşimi, tarım ve orman alanlarını, farklı endüstri türlerini, iletişim ve haberleşme ağlarını, çeşitli hizmet sektörlerini ve rekreasyonel alanları içeren bölgeye havza denmektedir. Aynı zamanda dinamik olan sosyal, ekonomik ve biyofiziksel bir sistemdir (UN, 1997). ABD Çevre Koruma Ajansı (US-EPA)'nın havza tanımı; bir göle, nehre, akarsuya, sulak alana, haliç veya koya akış sağlayan bir alan olduğu şeklindedir (Albayrak, 2012). Su Çerçeve Direktifi, "havza" terimini, bir veya daha fazla komşu nehir havzasından, yeraltı sularından ve kıyı sularından oluşan kara alanı ve denizalanı olarak tanımlar (Gonzalez-Anton & Arias, 2001). Havza ve bileşenleri Şekil 2.3 'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Havza Bileşenleri (Üçler, 2015)

Arazinin doğal kaynakları bünyesinde barındıran bir bileşeni olan havzalar, biyofiziksel ve sosyoekonomik özellikleri bakımından benzerlik ve bütünlük sergilemektedir. Havzaların seviyeleri değişir ve onları diğer kara parçalarından ayırır (Demirel, 2016).

Türkiye 25 su havzasından oluşmaktadır (Şekil 2.4). Bu havzalar aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Üçler, 2015):

- Karadeniz'e dökülenler: Kızılırmak, Yeşilırmak, Doğu Karadeniz ve Batı Karadeniz havzaları
- Marmara denizine dökülenler: Susurluk ve Marmara havzası
- Ege Denizine dökülenler: Gediz, Kuzey Ege, Büyük Menderes, Küçük Menderes havzaları
- Akdeniz'e dökülenler: Doğu Akdeniz, Batı Akdeniz, Antalya, Seyhan ve Ceyhan havzaları
- Uluslararası sulara dökülenler: Fırat-Dicle, Asi, Meriç-Ergene, Aras, Çoruh havzaları
- Kapalı havzalar: Burdur, Göller Yöresi, Konya Kapalı ve Van Kapalı havzaları



Şekil 2.4. Türkiye'deki Havzalar (DSİ, 2021)

Avrupa Birliği'nin Su Çerçeve Direktifi tanımlamasına göre nehir havzası, "Teknik olarak; bir dizi dere, nehir ve muhtemel göller yoluyla tüm yüzey akıntılarının su güzergahındaki belli bir noktadan tek bir nehir ağızı, haliç ya da delta aracılığıyla denize aktığı bir yüzey alanı " olarak ifade edilmektedir (SÇD, 2022). Havzalar kendi içlerinde alt havzalara ayrılmaktadır. Su toplama alanı olan bölümü Yukarı Havza, ana akarsuya bağlı denize dökülen bölümü ise Aşağı Havza olarak isimlendirilmektedir (OSİB, 2012). Su Çerçeve Direktifine göre Nehir Havzası

Bölgesi; “Bir veya daha fazla komşu nehir havzası ile bunların ilgili yeraltı suları ve kıyı sularından oluşan, nehir havzası yönetimi için çekirdek birim olarak tanımlanan kara ve deniz ortamı” şeklinde tanımlanmaktadır. Havza planlaması ise "Havzaları bir bütün olarak, kaynağından başlayarak ele almak ve havzadaki kirletici kaynakları düzenlemek" şeklinde tanımlanmaktadır (Ayaz et al., 2011).

Su kaynaklarının tam kapasite ile kullanılabilmesini sağlamak, korumak, kirlenmeyi önlemek ve kirli su kaynaklarının kalitesini yükseltmek amacıyla oluşturulan planlara, Havza Koruma Eylem Planları denmektedir (OSİB, 2012). Mevcut su kalitesi dikkate alınarak kaynakların havza bazında yönetilmesi ve Su Çerçeve Direktifi standartlarının karşılanması için en önemli çalışmalar eylem planlarıdır (Ayaz et al., 2011).

#### **2.4.2. Havza Yönetimi**

Ekolojinin temel ilkelerini dikkate alarak toplumun sosyal, kültürel ve ekonomik gelişimini sağlamak amacıyla havzadaki doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımının geliştirilmesi, planlanması ve yönetimine havza yönetimi denir. Havza yönetimi; su, toprak, bitki örtüsü, hayvan varlığı ve insan kaynaklarının değerlendirilmesi için bir planlama, projelendirme ve uygulama yöntemidir. Ayrıca yeni kaynaklar bulmayı ve geliştirmeyi, insanlarla doğal kaynaklar arasında olumlu ilişkiler kurmayı ve mevcut kaynakların sürekliliğini sağlamayı da içermektedir (Demirel, 2016). Havza yönetiminin amaçları aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Kayıkçı, 2015):

- Su ve ilgili kaynakların yenilenmesi ve korunması ve ölçeklenebilir havza yönetiminin sağlanması,

- Karar vericilerin ekosistemin durumu ve işleyişi hakkında bilgi sahibi olmalarının sağlanması,

- Çevresel ve ekonomik gelişmeleri dengeleme, uygun arazi kullanımı ve kaynak yönetimi değişiklikleri önermektir.

Havzanın tüm özelliklerinin belirlenmesi, mevcut su kalitesinin faydalı kullanımlarına göre değerlendirilmesi, mevcut ve ileriki yıllarda kullanımları için gerekli kalite parametrelerinin belirlenmesi, kirletici kaynakların tanımlanması, ortaya çıkan kirliliğin kontrolü için en uygun stratejinin belirlenmesi, havza yönetiminin önemli öğelerdendir (Demirel, 2016).

### 2.4.3. Su Havzası Yönetimine Bütüncül Yaklaşım

Havza planlaması, yani nehir havzalarını kaynağından başlayarak bir bütün olarak görmek ve havzadaki mevcut kirletici kaynakları incelemek, sürdürülebilir olması hedeflenen bir planlama için gereklidir. Havza yönetimi, su kaynaklarının nicelik ve niteliğindeki değişimlerin izlenmesi ve herhangi bir olumsuz durumda gerekli önlemlerin alınması açısından önem taşımaktadır (Ayaz et al., 2011).

Bütüncül havza yönetimi ile birçok sektör ve kaynak kullanıcı aynı anda dikkate alınabilmekte, tehditler ve fırsatlar uzun vadeli değerlendirilebilmekte, havza içindeki belirli alanlara yönelik müdahalelerin olumlu ve olumsuz etkileri izlenebilmektedir.

Avrupa Birliği'nde, su kaynaklarının yönetimi ve korunmasına ilişkin mevzuat için önemli bir alan bulunmaktadır. Yirmiye aşkın direktif bu alanda bulunmaktadır. 2000 yılında yürürlüğe giren Avrupa Birliği (AB) Su Çerçeve Direktifi (SÇD) bu direktiflerin en önemlisidir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019a).

Su yönetim stratejisi SÇD'nin temelini oluşturur (Coşkun, 2022). Su kaynaklarının ve havzadaki canlıların korunması, geliştirilmesi ve idame ettirilmesi için tüm havza bazında Nehir Havzası Yönetim Planlarının (NHYP) oluşturulması ve sürdürülebilir bir koruma-kullanma dengesinin dikkate alınması gerektiğini belirtmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019a).

NHYP'nin oluşturulması ve uygulanması, fiziko-kimyasal, kimyasal ve ekolojik kalite bileşenleri de dahil olmak üzere bütüncül bir yaklaşımla yüzey ve yeraltı su kütlelerinin iyi su kalitesine sahip olanların mevcut durumunun korunmasını, bozulmuş olanlarının iyi su durumuna getirilmesini ve sürdürülebilir kullanımını hedeflemektedir (Durmuş, 2021). SÇD, tüm sular için "iyi su" statüsüne ulaşmaya amaçlamasının yanı sıra, yüzey suyu kütleleri için "iyi ekolojik durum" ve "iyi kimyasal durum" ve yeraltı su kütleleri için "iyi kimyasal durum" ve "iyi miktar durumu" elde etmeyi amaçlamaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019a).

SÇD'ye göre, NHYP ana unsurları aşağıda sıralanmaktadır (Kanber, 2015):

- Nehir havzasının tanımı, korunan bölgelerin belirlenmesi ve haritalanması, ağ izleme haritasının hazırlanması,
- İnsan faaliyetlerinin neden olduğu ana streslere ve etkilere genel bir bakış,

- Çevresel hedefler ve ilgili makamların listesi,
- Finansal araştırma,
- Önlemler programı ve alınan önlemlerin ayrıntılandırılması,
- Halkı bilgilendirmek, geri bildirimlerini almak ve halktan geri bildirim almak için irtibat noktaları belirlenmesidir.

Su kaynaklarının mevcut kalitesinin korunması ve iyileştirilmesi için öncelikle havzayı tanımlayan unsurlar (debi, kalite, meteorolojik, hidrolojik, jeolojik ve sektörel bazda su kullanımları, arazi kullanımı ve erozyon konuları) tanımlanmaktadır. Daha sonra kısa, orta ve uzun vadeli koruma ilkelerinin belirlendiği bir eylem planına gereksinim duyulur (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019a).

#### **2.4.4. Su Havzalarındaki Kirletici Kaynaklar**

Havza sınırları boyunca uzanan su kaynaklarının korunması için öncelikle nehir, göl, okyanus gibi alıcı su ortamlarında tehdit oluşturan kirletici kaynakların belirlenmesi önemlidir. Noktasal ve noktasal olmayan (yayılı) kaynaklar olmak üzere su kaynaklarını kirleten etkenler ikiye ayrılır.

Noktasal kaynaklı kirlilik, kirletici kaynağından alıcı su ekosistemlerine belirli bir noktadan kirlilik deşarjları sonucu gelişen kirliliği tanımlamak için kullanılan terimdir. Endüstriyel faaliyet alanları ve yerleşim yerlerinden kolaylıkla tespit edilebilen ve izlenebilir olan atıksu deşarjları, noktasal kirlilik kaynakları oluşturmaktadır. Noktasal kirleticinin kaynağı sabit ve belirli olduğundan kolay kontrol edilebilirler (Biçer, 2011).

Alıcı ortamın coğrafi ve jeolojik özelliklerine bağlı olarak kentsel ve kırsal alanlardaki arazi kullanım faaliyetlerinden (tarım, hayvancılık, çayır, mera, maden ve inşaat alanları vb.) ve atmosferik ortamlardan (hava, su ve toprak) kaynaklanan iklimsel ve meteorolojik faktörler yoluyla taşınan noktasal kirleticilere göre önemli ölçüde daha karmaşık ve yönetilmesi zor olan kirlilik, yayılı kirlilik şeklinde tanımlanır (Üçler, 2015).

Azot ve fosfor gibi besin maddeleri, yayılı kirletici kaynakların arasında en önemli kirlilik parametreleridir. Havza ve su kalitesi modelleri için birincil kirlilik girdileri ve bu modellerin çeşitli kirlilik kontrol senaryoları altında işletilen besin

yükleridir. Tarım alanları, deniz taşımacılığı sırasında gemilerinden yayılan atık su ve atmosferik gazlar, noktasal olmayan azot kaynaklarına örnektir. Hayvan atıkları, azotlu gübreler (yapay veya doğal), sulama ve bitki çürümesi, tarımsal kaynaklı azotlu kirleticilerdir.

Yüzey sularında noktasal azot kaynakları ise kentsel atık su arıtma tesislerinden çıkan atık sular ve bazen bunların arıtılmadan by-pass sistemleri aracılığıyla deşarjı, suni gübreler, yoğun hayvancılık tesisleri, tekstil, gıda, süt ve deri endüstrisi gibi bazı kimya endüstrisi tesisleri ve bira fabrikaları, mezbahalar gibi bazı endüstriyel tesislerin atık sularındır (Biçer, 2011).

## **2.5. Su Havzalarını Etkileyen İklimsel Değişkenler**

İklim değişikliği ve değişkenliğinin nehir havzaları üzerindeki etkileri, sel ve kuraklıkların sıklık ve yoğunluk bakımından arttığı dünyanın birçok yerinde kendini göstermektedir. Su kaynakları sorunları sağlık, kamu güvenliği, tarım, enerji, sanayi, denizcilik ve turizm gibi bir dizi çevresel ve sosyoekonomik sektörü etkilediğinden, bu olayların yönetimi zorlaşmaktadır (Sondermann et al., 2022).

Dünya Ekonomik Forumu, su kalitesini de içeren su krizinin ilk on küresel krizden biri olduğuna (WEF, 2015) ve su kalitesinin hem insan faaliyetlerinden hem de iklim değişikliğinden bölgesel ve ulusal düzeyde etkilendiğine dair bir rapor yayınlamıştır. Bu nedenle, iklim değişikliğinin ve insan faaliyetlerinin su kalitesi üzerindeki etkisinin ölçülmesi, küresel olarak uzun vadeli ve zor su kalitesi güvenliği hedeflerine ulaşmak için büyük önem taşımaktadır (Yuan et al., 2023).

İklim değişikliği ve insan faaliyetleri su kalitesi üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkilere sahip olma eğilimindedir. Su kalitesi sürdürülebilir sosyoekonomik kalkınma için önemli olduğundan, insanlar kentleşme, sanayileşme ve yoğun tarımın nehir suyu kalitesi üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için bazı önlemler almalıdır. Bu olumsuz etkiler ağır metal kirliliğini ve aşırı azot ve fosfor girdisini içerebilir. Özellikle iklim değişikliği, yağış ve sıcaklıktaki değişikliklere bağlı olarak seyrelme, göç ve nehirlerdeki kirleticilerin bozunması süreçlerini değiştirerek su kalitesini de etkileyebilir (Charles et al., 2022).

Bilim adamlarına göre su döngüsünün bozulması ve su kalitesindeki değişiklikler, iklim değişikliğinin en önemli yansımalarıdır. Su döngüsünün dünyadaki su kaynaklarını sabit tuttuğu doğru olsa da, küresel olarak iklim

değişikliğinin su kaynaklarının yerini ve zamanlamasını etkilemesi nedeniyle, su kaynaklarının miktar ve kalite açısından yönetiminin birçok alanda daha zor hale geleceği tahmin edilmektedir (Çapar, 2019).

Fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mikrokirletici özelliklerin tümü, iklim değişikliğinin su kaynaklarının kalitesini nasıl etkilediğini izlemek için kullanılabilir. Sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen, çözünmüş organik madde ve besinler çeşitli fiziko-kimyasal temel parametrelerdir. Mikro kirleticiler; metaller, pestisitler ve farmasötikler dahil olmak üzere inorganik veya organik bileşenleri içerir. Biyolojik su kalite göstergelerine patojen mikroorganizmalar, siyanobakteriler ve diatomlar vb. örnek verilebilir. Bu parametrelerin su kaynağının cinsine (nehir, baraj, gölet vb.) ve su kütlesinin özelliklerine (boyutu, şekli, derinliği vb.) bağlı olarak su kaynaklarının kalitesi üzerinde farklı etkileri vardır (Delpla et al., 2009).

Havza bazında iklim değişikliğinin etkileri dikkate alındığında aşağıdaki sonuçlar beklenmektedir.

- *Taşkın*; aşırı hava olayları nedeniyle, nehir akışlarının, yüzey akışının ve taşkınların kış aylarında artması bekleniyor.
- *Kuraklık*; yüksek sıcaklıklar ve aşırı yağış nedeniyle kuraklık bekleniyor.
- *Hidroelektrik güç*; akış değişikliklerinden dolayı temiz enerji üretiminde azalma.
- *Tarım*; sulama suyuna daha fazla ihtiyaç olacaktır.
- *Kar kütlesi*; kar yağışında %25'lik bir azalma su kaynağını değiştirecektir.
- *Nehir akışı*; değişimler su temin ve kalitesi, balıkçılık ve rekreasyon faaliyetleri üzerine etkisi olacaktır.
- *Yeraltı suyu*; hidrolojik değişimler ve artan su talebinin getirdiği azalan su seviyeleri sonucunda bazı sığ kuyular kuruyacaktır.
- *Su kullanımı*; Tarımda, kentsel alanlarda ve çevresel alanlarda suya olan talep artacaktır.
- *Su kalitesi*; deltalar ve kıyı akiferleri, deniz seviyesi yükselmesinin neden olduğu tuzlu su girişinden etkilenecektir.
- *Deltadaki su setleri*; deniz seviyesinin yükselmesi su setlerini tehdit

edecektir.

- *Habitat*; Somon balığı gibi soğuk su türleri, ılık nehir suları tarafından baskı altındadır (Çapar, 2019).

### **2.5.1. Türkiye’de İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi**

Ülkemizde 1941-2003 yılları arasında yapılan gözlemlerin yer aldığı REC’in hazırladığı A’dan Z’ye İklim Değişikliği Başucu El Kitabına göre, özellikle ilkbahar ve yaz aylarındaki minimum (gece en düşük) hava sıcaklıkları, Türkiye’nin birçok şehrinde ısınma eğilimi ortaya koymuştur. Kış mevsiminde daha belirgin yağış azalması ve kuraklık olayları yaşanmıştır. Rapor 2008’de hazırlanmış ve 2015’te revize edilmiştir (REC Türkiye, 2015).

Artan yaz sıcaklıkları, kış yağışlarında azalma, yüzey sularının kaybı, sık görülen kuraklıklar, toprak yapısının bozulması, kıyı erozyonu, sel ve su baskınları gibi iklim değişikli etkileri Türkiye’nin su kaynaklarının varlığını doğrudan tehdit etmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanan dokümanlarda hem doğal (enlem, genel atmosfer sirkülasyonu, genel okyanus sirkülasyonu, yeryüzü şekilleri ve rakım, fırtınalar, hareket) hem de insan kaynaklı (sanayi ve ulaşım sektörü ve enerji üretim kaynaklı sera gazları, ormansızlaşma, tarımsal üretimden kaynaklanan atıklar) değişkenleri iklim değişikliğinin nedenleri olarak belirlemiştir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2011). Günümüzde birçok etken iklimin değişmesine neden olabilmektedir. Bunlar; doğal etkenler ve insan kaynaklı etkenler şekilde tanımlanmaktadır.

#### **2.5.1.1. İklim Değişikliğini Etkileyen Doğal Faktörler**

Doğal etkenler; geçmiş iklim koşulları incelendiğinde, iklim değişikliğinin volkanik aktivite, güneş enerjisi miktarındaki değişiklikler, dünyanın ekseninin eğimindeki değişiklikler ve yörünge geometrisindeki değişiklikler gibi doğal faktörlerin ortaya çıktığı açıkça görülmektedir (Kahraman & Şenol, 2018).

**Volkanik Aktiviteler:** Volkanik aktivitenin bir sonucu olarak yüksek konsantrasyonlarda silikat ve sülfürik asit aerosolleri atmosfere salınır. CO<sub>2</sub>’den sonra, volkanik aktiviteler sonucu üretilen sülfat parçacıkları, iklim sistemindeki en önemli etki edicilerden biridir. Önemli volkanik aktivitenin olduğu bölgelerde yapılan araştırmalar, dünya sıcaklığının zaman içinde birkaç derece düştüğünü göstermiştir.

Güneş Enerjisi Miktarındaki Değişimler: İklim sistemi, güneşteki herhangi bir değişiklikten önemli ölçüde etkilenebilir. Araştırmaya dayalı modeller, güneş enerjisindeki %2'lik bir azalmanın dünya sıcaklığında 4 °C'lik bir düşüşe neden olabileceğini göstermiştir.

Dünya Eksenindeki Değişimler: İklim sistemlerinin iki ana bileşeni olan atmosfer ve okyanus arasındaki etkileşim değişkendir. Okyanus yüzeyi ve dip akıntıları, zaman içinde iklim sisteminde değişimlere sebep olabilmektedir. Örneğin Doğu Pasifik'te El Nino'nun yüzey sularının sıcaklığını düzenli olarak değiştirdiği kaydedilmiştir. Her iki yarım kürede de atmosferik olayların sık sık meydana gelmesi, kaçınılmaz olarak zaman içinde küresel iklimde çeşitli değişikliklere neden olacaktır (McMichael et al., 2006).

#### **2.5.1.2. İklim Değişikliğini Etkileyen İnsan Kaynaklı Faktörler**

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneline göre, sera gazı emisyonlarındaki insan faaliyetlerine bağlı artışlar, dünyadaki iklim değişikliğinin başlıca itici gücüdür. Atmosferdeki karbondioksit artışı, kömür başta olmak üzere fosil yakıtların yanmasından kaynaklanmaktadır.

IPCC, fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan karbondioksitin 2004 yılındaki insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının %56'sını oluşturduğunu tahmin etmektedir. Fosil yakıtlar içinde en hesaplısı kömürdür. Kömür, dünyanın temel enerji ihtiyacının %27'sini karşılamakta ve enerji sektörüyle bağlantılı sera gazı emisyonlarının da %43'ünü oluşturmaktadır.

İkinci sırada %36 ile petrol, %20 ile doğal gaz üçüncü sırada yer almaktadır. Doğal gaza kıyasla kömür, üretilen birim enerji başına atmosfere 1,7 kat daha fazla CO<sub>2</sub> salmaktadır. İklim değişikliği, çeşitli insan kaynaklı eylemlerden kaynaklanmaktadır. Sanayileşme sonucu artan enerji ve ulaşım ihtiyacını karşılamak için fosil yakıtların kullanılması sonucu oluşan yanma gazları (partikül madde, metan, karbondioksit vb.) ve eksik yanma gazları (karbon monoksit) oluşmaktadır (Yavuz, 2015).

Arazi kullanım değişiklikleri, ormansızlaşma, fosil yakıtların kullanımı, endüstriyel faaliyetler, insan faaliyetleri ve atmosfere sera gazı emisyonları son yıllarda hızlı bir şekilde arttırmıştır. CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O ve CFC'ler gibi sera gazlarının salınmasıyla insanlar sera etkisinin artmasına doğrudan katkıda bulunmuştur. Şimdi

bile, bu artış devamlılığını sürdürmektedir. Karbon monoksit (CO), uçucu organik bileşikler (UOB), azot oksitler (NO<sub>x</sub>), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) ve ozon (O<sub>3</sub>) gibi kirleticiler nedeniyle dünyadan yansıyan uzun dalga boylu radyasyon da sera etkisi üzerinde etkilidir (IPCC, 2013).

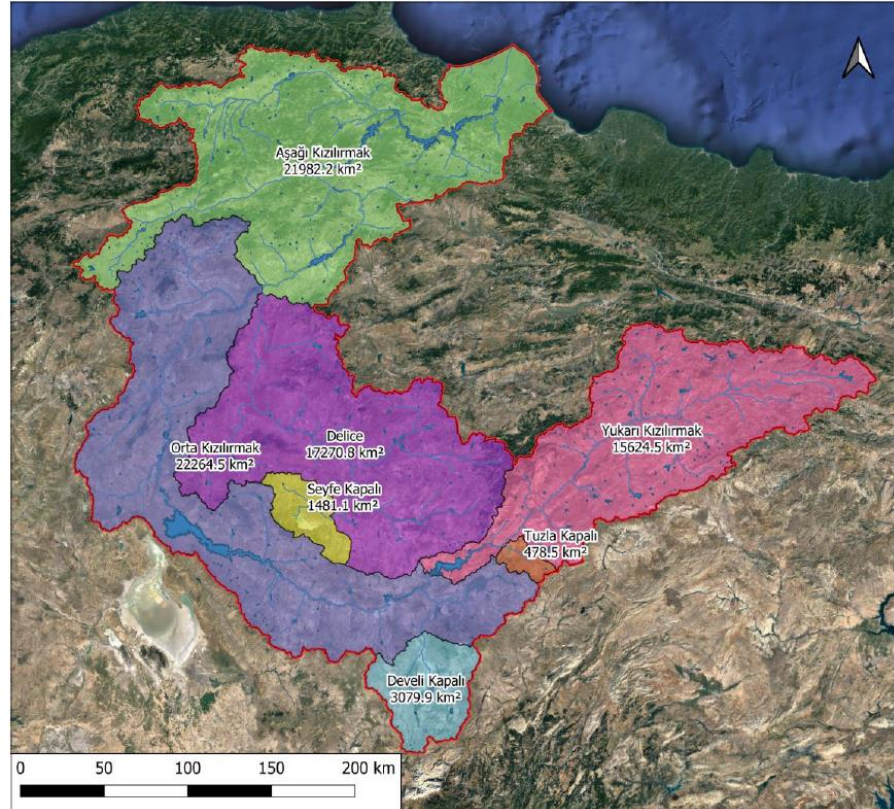


### 3. KURAMSAL TEMELLER

#### 3.1. Çalışma Havzaları

##### 3.1.1. Kızılırmak Havzası

Kızılırmak Nehri, kaynağı ülkemiz sınırları içinde olan ve ülkemiz sınırlarından denize dökülen en uzun nehir olma özelliğine sahiptir. Kızılırmak, 1.151 km nehir uzunluğuna ve 82.182 km<sup>2</sup>'lik havza alanına sahiptir. Türkiye'nin en büyük ikinci havzası olan Kızılırmak, İç Anadolu'nun doğu kesiminde yer alan Sivas-İmranlı bölgesinde doğup, Bafra Ovasından Karadeniz'e dökülür (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022a). Büyük bir alanı kapsayan Kızılırmak Havzası sınırlarında; Kırıkkale ilinin % 100'ü, Kırşehir ilinin % 99,83'ü, Nevşehir ilinin % 88,07'si, Yozgat ilinin % 67,57'si, Çorum ilinin % 66,47'si, Çankırı ilinin % 65,38'i, Samsun ilinin % 50,10'u, Sivas ilinin % 47,14'ü, Kayseri ilinin % 46,85'i, Kastamonu ilinin % 43,49'u, Sinop ilinin % 43,35'i, Ankara ilinin % 17,07'si, Aksaray ilinin % 15,70'i, Amasya ilinin % 12,39'u, Niğde ilinin % 4,41'i ve Tokat ilinin % 0,91'i yer almaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017). Alt havzalar Şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1. Kızılırmak Havzası (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022)

Kızılırmak Havzası iklim, akış özellikleri, yeryüzü şekilleri, su yapıları, kapalı havza olması ve jeolojik durumu dikkate alınarak 3'ü kapalı havza olmak üzere 7 alt havzaya bölünmüştür. Alt havzalar Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Kızılırmak Havzası Alt Havzalar-Bölümler-Yağış Alanı (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022)

| <b>Kızılırmak Havzası-Alt Havzalar</b> | <b>Alt Havza Bölümleri</b>                | <b>Yağış Alanı</b>       |
|----------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------|
| Yukarı Kızılırmak Havzası              |                                           | 15.624,5 km <sup>2</sup> |
| Orta Kızılırmak Havzası                | Yamula-Hirfanlı Bölümü                    | 22.264,5 km <sup>2</sup> |
|                                        | Ankara Bölümü                             |                          |
|                                        | Yukarı Delice (Kayseri Bölge) Bölümü      |                          |
| Delice Havzası                         | Karaova Bölümü                            | 17.270,8 km <sup>2</sup> |
|                                        | Gelingüllü – Sungurlu Bölümü              |                          |
|                                        | Obruk Bölümü                              |                          |
|                                        | Devrez Bölümü                             |                          |
| Aşağı Kızılırmak Havzası               | Gökırmak Bölümü                           | 21.982,2 km <sup>2</sup> |
|                                        | Mansap (Boyabat-Altınkaya-Derbent) Bölümü |                          |
|                                        | Bafra Ovası Mütferrik Suları Batı Bölümü  |                          |
|                                        | Bafra Ovası Mütferrik Suları Doğu Bölümü  |                          |
| Tuzla Kapalı Havzası                   |                                           | 478,5 km <sup>2</sup>    |
| Develi Kapalı Havzası                  |                                           | 3.079,9 km <sup>2</sup>  |
| Seyfe Kapalı Havzası                   |                                           | 1.481,1 km <sup>2</sup>  |

### 3.1.1.1. Meteorolojik Özellikleri

Kızılırmak Nehir Havzası, uzunluğu nedeniyle oldukça geniş bir alanı kaplamaktadır. Kızılırmak Havzası'nda güneyde İç Anadolu Bölgesi'nin, kuzeyde ise Karadeniz Bölgesi'nin iklimi hakimdir. Havza genel olarak bölgesel yarı kurak ve yarı nemli özellikler göstermektedir. Yukarı Kızılırmak Alt Havzası bölgesi yarı nemli, Orta Kızılırmak ve Delice Aşağı Havzaları ise yarı kurak ve yarı nemlidir. Kızılırmak'ın Karadeniz'e döküldüğü Bafra Deltası dışında, Aşağı Kızılırmak Alt Havzası'nın çoğu bölümü yarı nemli iklimsel özellik göstermektedir. Develi Kapalı Alt Havza'sında ise yarı kurak iklim hakimdir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022a). Günlük ve yıllık sıcaklık değişim oranı Karadeniz ikliminde azdır. Genellikle yıllık ortalama sıcaklık değerleri 13-15°C arasındadır. Yağışın en fazla düştüğü mevsim kış iken en az düştüğü mevsim ise yaz olmasına rağmen yağış rejimleri arasında pek fark yoktur. Karadeniz ikliminin hakim olduğu alt havzalardaki yağış ortalaması ise 1.000-1.200 mm arasındadır. Kızılırmak havzasının İç Anadolu karasal ikliminin

hakim olduğu yerlerde kışlar soğuk ve genellikle kar yağışlı, yazlar ise sıcak ve kurak özellik gösterir. Yıllık ve günlük sıcaklık farkları karasal iklimin hakim olduğu yerlerde fazladır ve yıllık sıcaklık ortalamaları 9-12°C arasındadır. Yıllık yağış ortalamaları ise 300-600 mm arasındadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022a). Tablo 3.2’de 1971’den 2020’ye kadar sıcaklık ve yağış için alt havza ortalamaları verilmiştir.

Tablo 3.2. Kızılırmak Alt Havzaları 1971-2020 Yılları Arasındaki Dönem Yağış ve Sıcaklık Ortalamaları (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022)

| <b>Alt Havza</b>               | <b>Yıllık Ortalama Toplam Yağış Seviyesi (mm)</b> | <b>Yıllık Ortalama Hava Sıcaklığı Değişimi (°C)</b> |
|--------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Yukarı-Kızılırmak Alt Havzası  | 435,74                                            | 9,33                                                |
| Orta-Kızılırmak Alt Havzası    | 398,25                                            | 11,18                                               |
| Delice Alt Havzası             | 416,12                                            | 10,44                                               |
| Aşağı-Kızılırmak Alt Havzası   | 510,27                                            | 11,83                                               |
| Tuzla Kapalı Alt Havzası       | 401,29                                            | 9,62                                                |
| Develi Kapalı Alt Havzası      | 358,07                                            | 10,91                                               |
| Seyfe Kapalı Havzası           | 373,05                                            | 11,57                                               |
| <b>Kızılırmak Havza Geneli</b> | <b>437,15</b>                                     | <b>10,83</b>                                        |

1971’den 2020’ye kadar, Kızılırmak Havzası’nda yıllık ortalama yağış seviyesi 437,15 mm ve yıllık ortalama hava sıcaklığı 10,8°C olmuştur. Kızılırmak havzasının genel ortalamasını hesaplamak için tüm alt havzalardaki ortalama sıcaklık ve yağış ölçümleri kullanılmıştır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022a).

### 3.1.1.2. Sosyoekonomik Özellikleri

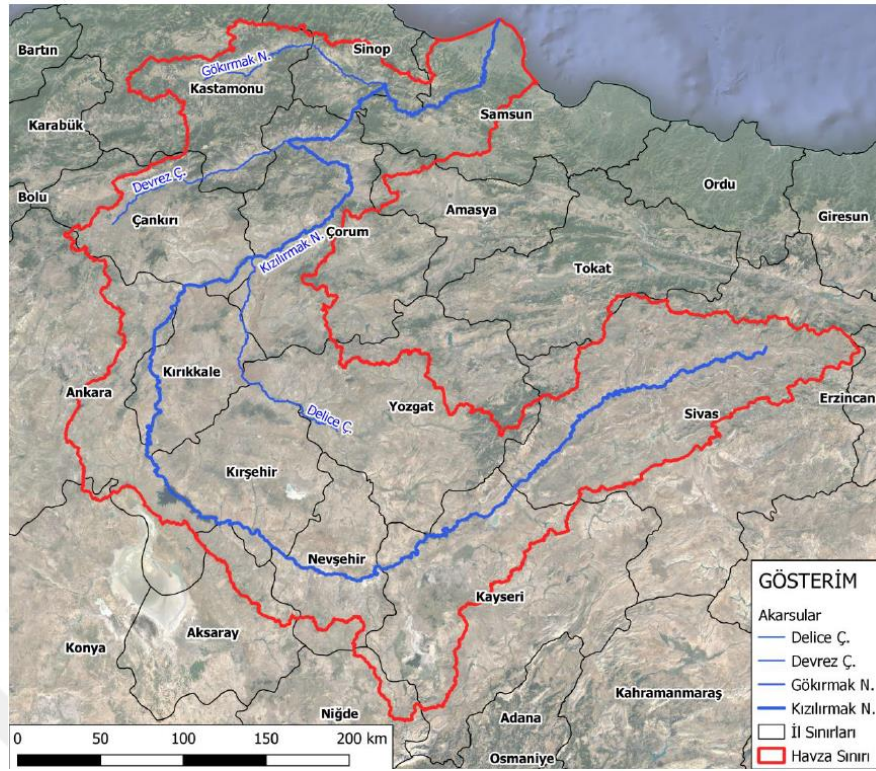
TÜİK verilerine göre Havza sınırları 18 il, 8 il merkezi, 94 ilçe merkezi, 1.103 kentsel alan, 44 belde ve 2.985 köyden oluşmaktadır. Havzada büyükşehir belediyeleri, büyükşehir dışı il, il merkezi, ilçe merkezi, belde ve köylerde toplam 4.204 mahalle bulunmaktadır. 2021 yılı nüfus verilerine göre havzanın toplam nüfusu 4.119.651 kişi olarak temin edilmiştir. Havzanın kentsel kesiminde 3.145.486, kırsal kesimde 974.165 kişi yaşamaktadır. Havzanın nüfusu tüm ülke nüfusunun %4,86’sını oluşturmaktadır (TÜİK, 2022).

Kızılırmak Havzası’nda yer alan illerin havza sınırları içerisinde yer alan büyüklükleri Tablo 3.3’te verilmektedir.

Tablo 3.3. İllerin Kızılırmak Havza İçindeki Dağılımları (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022)

| İl Adı        | İlin Toplam Alanı<br>(km <sup>2</sup> ) | İlin Havzaya Giren<br>Alanı (km <sup>2</sup> ) | Havzadaki Alan<br>Yüzdesi (%) |
|---------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------|
| Aksaray       | 7.661                                   | 1.307                                          | 2                             |
| Amasya        | 5.635                                   | 645                                            | 1                             |
| Ankara        | 25.664                                  | 5.143                                          | 6                             |
| Çankırı       | 7.550                                   | 5.873                                          | 7                             |
| Çorum         | 12.425                                  | 8.219                                          | 10                            |
| Erzincan      | 11.812                                  | 0.01                                           | 0                             |
| Kastamonu     | 13.061                                  | 5.839                                          | 7                             |
| Kayseri       | 16.967                                  | 7.945                                          | 10                            |
| Kırıkkale     | 4.793                                   | 4.793                                          | 6                             |
| Kırşehir      | 6.577                                   | 6.577                                          | 8                             |
| Konya         | 40.815                                  | 128                                            | 0,2                           |
| Nevşehir      | 5.487                                   | 4.821                                          | 6                             |
| Niğde         | 7.235                                   | 573                                            | 1                             |
| Samsun        | 9.724                                   | 4.789                                          | 6                             |
| Sinop         | 5.721                                   | 2.563                                          | 3                             |
| Sivas         | 28.170                                  | 13.415                                         | 16                            |
| Tokat         | 10.034                                  | 63                                             | 0,1                           |
| Yozgat        | 13.685                                  | 9.475                                          | 12                            |
| <b>Toplam</b> | <b>233.017</b>                          | <b>82.182</b>                                  | <b>100</b>                    |

Toplam alanın %56'sını oluşturan tarım bölgeleri Kızılırmak Havzası'nın büyük bölümünü oluşturmaktadır. Havzadaki arazi kullanımının %41'i, koruluklar, maki ve diğer otsu bitkilerle kaplı alanlar, bitki örtüsünün çok az olduğu veya hiç olmadığı kumsal, kayalık ve yanmış alanları içeren orman ve yarı doğal yaşam alanlarından oluşmaktadır. Bataklık ve tuzla gibi ıslak alanların toplam oranı %1,22 iken, tarım dışı arazi olarak da bilinen şehir, kasaba vb. yapay alanların toplam oranı ise %1,43'tür. Havzanın yaklaşık %0,54'ü, akarsular, haliçler ve kıyı lagünleri dahil olmak üzere tüm karasal su kütlelerinden oluşmaktadır (Avrupa Çevre Ajansı, 2019). Şekil 3.2'de Kızılırmak Havzasında yer alan illerin idari sınırlarını içeren haritalama verilmiştir.



Şekil 3.2. Kızılırmak Havzasındaki İllerin İdari Sınırları (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022)

Tarım ve hayvancılık bölgedeki başlıca ekonomik itici güçlerdir. Bölgede hayvansal üretim büyükbaş, küçükbaş, kümes hayvancılığı ve balıkçılık ile yapılmaktadır.

### 3.1.1.3. Yüzeysel Su Kaynakları

1.151 km uzunluğunda ve 2.181,5 km<sup>2</sup> büyüklüğündeki su havzası olan Kızılırmak Nehri, İmranlı'da birçok derenin birleşmesiyle oluşur. Acısu, Hafik, Mismil, Tecer, Koru, Yıldız, Kalın ve Göksu nehirleri Sivas ilinden geçerken Kızılırmak'a karışır. Kayseri Bölgesi'nin suları Karasu tarafından toplanarak nehrin Kayseri il sınırları içindeki seyri sırasında Kızılırmak Nehri'ne beslenmektedir. Bala ilçesinin batı kısmının suları, Kırıkkale'den sonra Kızılırmak Nehri'ne katılan Balaban Çayı'nda toplanmaktadır. Kızılırmak Nehri'ne batıdan doğan ve Çankırı Bölgesi'nin sularını toplayan Terme ve Akçay nehirleri katılmaktadır. İskilip ve Bayat kuzeyinden gelen Bayat ve Ovacık Çayları ile Değirmen Dere Kızılırmak'la birleşir.

Türkiye akarsularının en uzununu olan nehrin başlıca kolları Delice, Devrez ve Gökırmak'tır. Devrez Çayı, Köroğlu Dağları'nın kuzeye bakan yamaçlarından doğan kolların birleşmesiyle oluşur ve Ilgaz Dağları'nın güneyinden Kızılırmak'a taşınır.

Yakın çevredeki Orta, Kurşunlu, Ilgaz ve Tosya'dan gelen sular, Kargı yakınlarında Kızılırmak'a katılan Devres Çayı'nda toplanmaktadır.

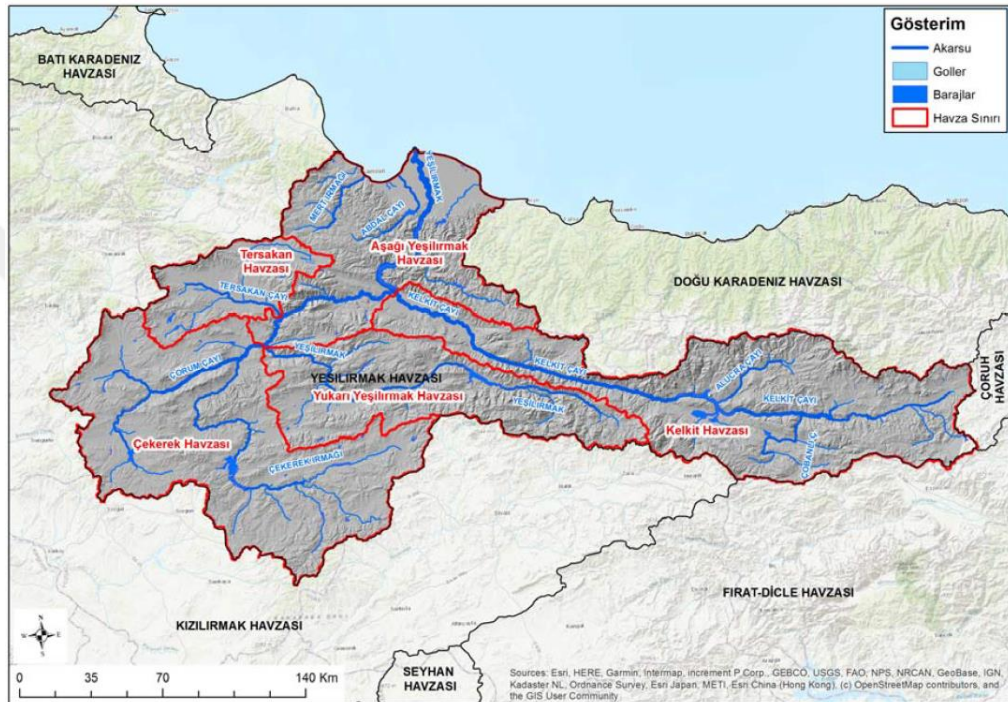
Gökırmak, Kızılırmak Nehri'nin batı yakasındaki, ana koludur ve Kastamonu il sınırları içindeki Ilgaz Dağı'nın kuzey yamaçlarından doğar, batıdan doğuya doğru uzanır. Akkaya, Karadere, Uludere, Daday, Kastamonu, Karasu, Alpagut, Ağçıkavak, Çit, Çakmak, Çana, Hamzaoglu, Küre, Kavakpazarı çayları Gökırmak'a katılarak Boyabat istikametinde devam eder ve Durağan'dan sonra Kızılırmak'a katılır. Delice Irmağı, Kızılırmak'ın İç Anadolu Bölgesindeki en uzun koludur. Delice Irmağı, Kaman, Akpınar, Keskin ve Yozgat kesiminin sularını toplayarak Kızılırmak'a katılmaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022a).

Kızılmak Havzası, Türkiye'nin yüzey suyu potansiyelinin yaklaşık %2,82'sine tekabül eden  $5,18.10^9 \text{ m}^3$  ( $2,09 \text{ L/s.km}^2$ )'lük yıllık ortalama akışa sahiptir. Bunun yaklaşık  $2,59.10^9 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'lık kısmının kullanılabilir olduğu bilinmektedir. Kızılmak Havzası'nda, yeraltı suyu işletme rezervi yaklaşık  $1.023,30.10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ , yeraltı suyu potansiyeli ise yaklaşık  $1.364,4.10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'dır. Havzanın toplam yüzey suyu potansiyeli,  $5,18.10^9 \text{ m}^3/\text{yıl}$  iken yüzey ve yeraltı suyu potansiyeli birlikte  $6,544.10^9 \text{ m}^3/\text{yıl}$  olarak değerlendirilmiştir. Havzanın kullanılabilir su potansiyeli  $2,59.10^9 \text{ m}^3/\text{yıl}$  kullanılabilir yüzeysel su ve yaklaşık  $1.364,4.10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$  yeraltı suyu işletme rezervleri göz önüne alınarak  $3,95.10^3 \text{ m}^3/\text{yıl}$  olarak belirlenmiştir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017).

### **3.1.2. Yeşilırmak Havzası**

Yeşilırmak nehri, Sivas ili sınırlarındaki Köse ve Kızıldağ dağlarının yamaçlarından doğar ve Canik, Giresun, Gümüşhane, Pulur, Çimen, Tekeli, Yıldız, Çamlıbel, Akdağlar, Karababa, İnegöl, Kunduz Dağı zirvelerinden geçerek Çarşamba ovasından Karadeniz'e ulaşır. Türkiye'nin en büyük 5'inci havzasını oluşturan Yeşilırmak nehri 519 km uzunluğundadır ve yaklaşık  $39.628 \text{ km}^2$ 'lik alanın sularını Karadeniz'e boşaltmaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018). Yeşilırmak Havzasında Tokat ilinin %99,09'u, Amasya ilinin %87'si, Samsun ilinin %49,90'ı, Yozgat ilinin %30'u, Çorum ilinin %33'ü, Sivas ilinin %14'ü, Gümüşhane ilinin %43'ü, Giresun ilinin %39'u, Erzincan ilinin %9'u, Ordu ilinin %10'u ve Bayburt ilinin %1'i yer almaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017).

Yeşilırmak Havzası; Kelkit Alt Havzası, Yukarı Yeşilırmak Alt Havzası, Çekerek Alt Havzası, Tersakan Alt Havzası ve Aşağı Yeşilırmak Alt Havzası olmak üzere 5 adet alt havzaya ayrılmıştır. Şekil 3.3 'te Yeşilırmak Havzası alt havzaları detaylı bir şekilde gösterilmektedir. Yeşilırmak Havzası'ndaki önemli akarsular Yeşilırmak Nehri, Tersakan Çayı, Kelkit Çayı ve Çekerek Irmağı'dır. Ayrıca havza içerisinde Mert Irmağı, Kürtün Çayı, Terme Çayı, Abdal Irmağı gibi dere ve çaylar bulunmaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022b).



Şekil 3.3. Yeşilirmak Havzası Alt Havzaları (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022)

### 3.1.2.1. Meteorolojik Özellikleri

Yeşilirmak Havzası, denize kıyısı olan ve çevresindeki yerlerde Karadeniz ikliminin hakim olduğu görülmektedir. Karadeniz ikliminde kışlar ılık, yazlar serin geçmektedir. Mevsimsel değişiklikler yavaş yavaş gerçekleşmektedir. Hemen hemen tüm mevsimlerde, aylara göre eşit olarak dağılan yağışlar görülmektedir. Havzanın yüksek dağlarının olduğu en güney bölgelerinde karasal iklimin etkilerinin görülmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022b).

Havzanın yağış özelliklerine bakıldığında yıllık ortalama yağış miktarının yaklaşık 50 mm olduğu ve kış aylarında bu yağış miktarında küçük bir artış (60-65 mm) olduğu görülmektedir. En düşük yağış miktarı, yaz boyunca 26,5-24,6 mm ile Temmuz ve Ağustos aylarında görülmektedir. Yağışın en yoğun görüldüğü il

Giresun'dur. İç kısımlarda ise yağış hızla azalmaktadır (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2015).

Yeşilırmak Havzası'nın yıllık ortalama sıcaklığı 12 °C civarındadır. Havzanın Karadeniz kıyısına yakın kısımlarında sıcaklık genellikle iç kesimlere göre daha yüksektir. Özellikle kış ortalama sıcaklıkları açısından Aralık, Ocak ve Şubat aylarında içeriye doğru hareket ettikçe sıcaklıklar 0 °C'nin altına düşmektedir.

Soğuk devreyi karakterize eden sürede ortalama sıcaklıklar 1-3 °C arasındadır. Ortalama olarak en yüksek sıcaklık 21,8 °C ile yaz mevsimidir. Temmuz ve Ağustos en sıcak aylardır (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2015).

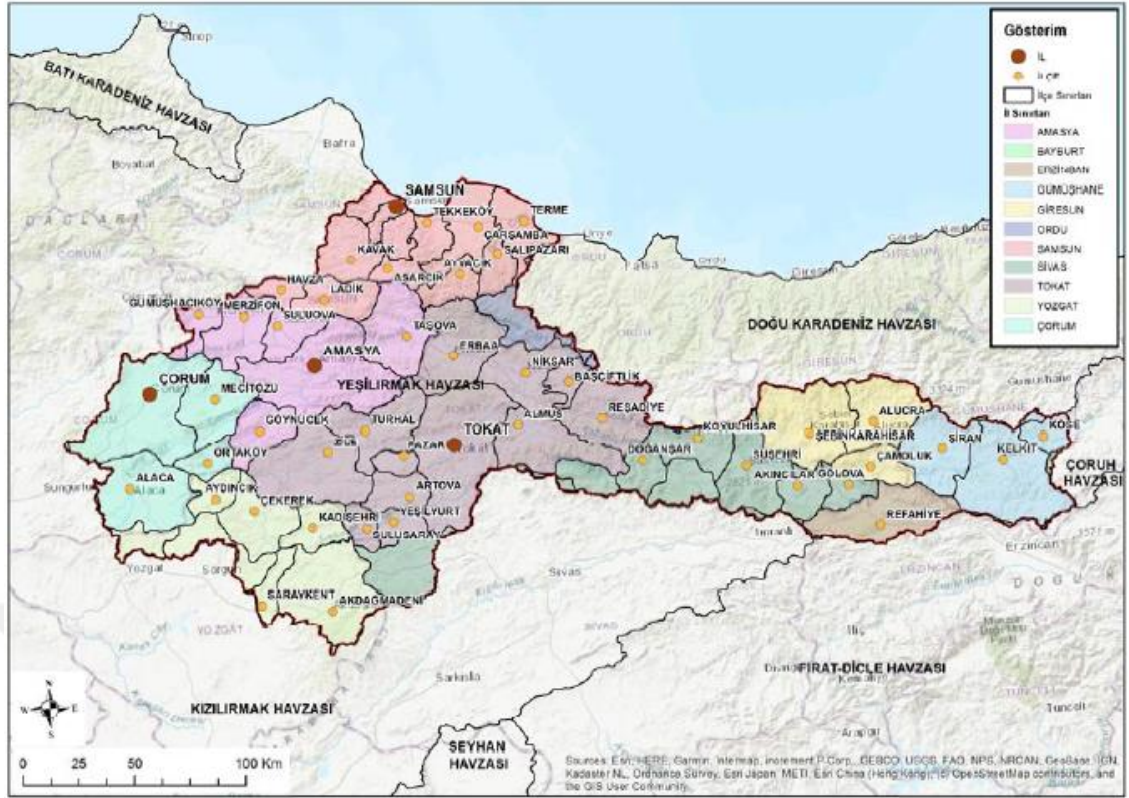
### 3.1.2.2. Sosyoekonomik Özellikleri

TÜİK Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sisteminden Yeşilırmak Havzası'ndaki yerleşim yerleri için 2020 yılı nüfus tahminleri temin edilmiştir. Bu verilere göre havzanın toplam nüfusu 2.590.103 kişidir. Türkiye nüfusunun %3,1'i bu sayı ile temsil edilmektedir (TÜİK, 2022).

Yeşilırmak Havzası'nda yer alan illerin havza sınırları içerisinde yer alan büyüklükleri Tablo 3.4'te, Şekil 3.4'te ise il idari sınırları verilmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022b).

Tablo 3.4. İllerin Yeşilırmak Havza İçindeki Dağılımları (TUBITAK MAM, 2010)

| İl Adı        | İlin Toplam Alanı<br>(km <sup>2</sup> ) | İlin Havzaya Giren<br>Alanı (km <sup>2</sup> ) | Havzadaki Alan<br>Yüzdesi (%) |
|---------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------|
| Tokat         | 9.982                                   | 9.982                                          | %26                           |
| Amasya        | 5.701                                   | 4.884                                          | %12                           |
| Samsun        | 9.579                                   | 4.807                                          | %12                           |
| Yozgat        | 14.123                                  | 4.238                                          | %11                           |
| Çorum         | 12.820                                  | 4.221                                          | %11                           |
| Sivas         | 28.488                                  | 4.115                                          | %10                           |
| Gümüşhane     | 6.585                                   | 2.828                                          | %7                            |
| Giresun       | 6.934                                   | 2.670                                          | %7                            |
| Erzincan      | 11.903                                  | 1.109                                          | %2,9                          |
| Ordu          | 6.001                                   | 613                                            | %1,5                          |
| Bayburt       | 3.652                                   | 32                                             | %0,1                          |
| <b>Toplam</b> | <b>115.768</b>                          | <b>39.502</b>                                  | <b>%100</b>                   |



Şekil 3.4. Yeşilirmak Havzası İl İdari Sınırları (TUBITAK MAM, 2010)

Orman ve yarı doğal alanlar Yeşilirmak Havzası'nın arazi kullanımında %56'sını oluşturmaktadır ve bu alanlar içerisinde; karışık ormanlar, maki ve otsu bitkilerin kapladığı alanlar ile bitki örtüsü az olan ya da hiç olmayan kumsallar, kayalıklar ve yanmış alanlar gibi bölgelerin tamamı yer almaktadır. Tarımsal alanlar ise %42'sini oluşturmaktadır. Havzada yapay alanlar, ıslak alanlar ve su yüzeylerinin her biri %1'lik bir alanı oluşturmaktadırlar. Yeşilirmak Havzası'ndaki alanlar için tarım önemli bir ekonomik sektördür. Bölgede hayvansal üretim olarak büyükbaş, küçükbaş, kümes hayvancılığı, su ürünleri ve arıcılık yapılmaktadır (TUBITAK MAM, 2010).

### 3.1.2.3. Yüzeysel Su Kaynakları

Yeşilirmak Havzası sınırları içerisinde inşaat halinde ve faaliyette olan toplam 23 adet baraj bulunmaktadır (Dinç, 2019). Havza içinde kalan barajlar; Abdal Deresi üzerindeki Çakmak Barajı, Çomar Deresi üzerindeki Çorum Barajı, Ilgınözü Deresi üzerindeki Yenihayat Barajı, Suludere üzerindeki Alaca Barajı, Hatap Çayı üzerindeki Hatap Barajı, Kelkit Çayı üzerindeki Çamlığöze Barajı, Tersakan Çayı üzerindeki Yedikır Barajı, Boztepe Çayı üzerindeki Boztepe Barajı, Kelkit Nehri

üzerindeki Kılıçkaya Barajı, Yeşilırmak üzerindeki Suat Uğurlu Barajı, Hasan Uğurlu Barajı, Almus Barajı ve Ataköy Barajıdır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018).

Yeşilırmak Havzası için verilen yıllık ortalama akış,  $5,28.10^9 \text{ m}^3$  ( $4,63 \text{ L/s.km}^2$ ) olup, Türkiye'nin yüzeysel su potansiyelinin yaklaşık %2,87'sini teşkil etmektedir. Bunun kullanılabilir kısmı ise yaklaşık  $2,64.10^9 \text{ m}^3/\text{yıl}$  olarak tahmin edilmektedir. Yeşilırmak Havzası'nın yeraltı suyu işletme rezervi yaklaşık  $456,62.10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$  olup yeraltı suyu potansiyelinin yaklaşık  $608,8.10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$  olduğu tahmin edilmektedir. Havzadaki  $5,28.10^9 \text{ m}^3/\text{yıl}$  yüzeysel su ve yaklaşık  $608,8.10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$  yeraltı suyu potansiyeli dikkate alındığında toplam su potansiyeli  $5,9.10^9 \text{ m}^3/\text{yıl}$  olarak hesaplanmıştır. Havzanın  $2,64.10^9 \text{ m}^3/\text{yıl}$  kullanılabilir yüzeysel suyu ve  $456,62.10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$  yeraltı suyu işletme rezervleri göz önünde tutulduğunda yaklaşık  $3,1.10^9 \text{ m}^3/\text{yıl}$  kullanılabilir su potansiyeli olduğu belirlenmiştir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017).

### 3.2. Günlük Maksimum Toplam Yük Yaklaşım (GMTY) Modeli

ABD'de 1990'lardan beri kullanılan Günlük Maksimum Toplam Yük (GMTY) yaklaşımı, kirlilik kaynaklarından gelen yüklerin saptanmasında ve su kütlelerinin (akarsular, nehirler, göller ve haliçler) iyi su kalitesine ulaştırılmasında kullanılan planlardır (Giri, 2021). Yaklaşım modeli, bir kirletici azaltma hedefinin belirlenmesini ve atık yükü azaltmanın kirlilik kaynaklarına tahsis edilmesini içermektedir (Fan et al., 2021).

Günlük Maksimum Toplam Yük Modeli:

- Belirli bir su kütlesi veya kesimindeki su kirliliğinin türü, miktarı ve kaynaklarının tanımı,
- Su kalitesine ulaşmak için kirliliğin ne kadar azaltılması veya ortadan kaldırılması gerektiğine dair analiz,
- Kirliliği kontrol etme stratejisi ve
- Etkinliği değerlendirmek için izleme planını içermektedir.

GMTY süreci, havza yönetimine yönelik su kalitesine dayalı yaklaşımın önemli bir unsurudur. Bir GMTY'nin oluşturulması ve uygulanması yoluyla; tüm kaynaklardan gelen kirletici yükler tahmin edilmektedir; kirleticiler, kaynaklar ve su

kalitesi üzerindeki etkiler arasında bağlantılar kurulur; maksimum kirletici yükleri her bir kaynağa tahsis edilir ve su kalitesi standartlarına ulaşılabilmesi için uygun kontrol mekanizmaları kurulmakta veya değiştirilmektedir. Her GMTY, tanımlanmış kritik koşullar için su kalitesi standartlarını karşılaması gereken, dikkatlice tanımlanmış maksimum izin verilen kirletici yük veya yüklerdir. Bu yük, su kalitesi standartlarını elde etmesi ve sürdürmesi için bir su kütlesine katkıda bulunabilecek maksimum kirletici miktarıdır. GMTY, zamana veya kirletici kaynaklarının belirli konumuna ve dağılımına göre değişebilmektedir. Bu nedenle, GMTY'lerin geliştirildiği su kütlesinin kritik koşullarını veya dönemlerini belirlemek gerekmektedir (US EPA, 1999).

Herhangi bir su kaynağı için GMTY hesaplanırken su kalitesi standartları, seyreltmeler, noktasal ve noktasal olmayan (yayılı) kirlilik kaynakları, suyun önceki kalite durumu ve su kaynağındaki potansiyel kimyasal reaksiyonlar dikkate alınmaktadır (Ölmez, 2014).

Nehir havzasının su kalitesi ile kirleticinin kaynağı arasındaki ilişki GMTY'nin temelidir. Su kalitesi kirleticilerinin kontrolünü sağlamak için, kabul edilebilir standart değerleri aşmadan su kütlesi tarafından alınan kirleticiler için izin verilen yüke göre bir temel yapı oluşturulmaktadır.

GMTY hesaplanması için Denklem 3.1 kullanılır;

$$GMTY = NKYP + YKYP + EP \quad (3.1)$$

GMTY : Günlük Maksimum Toplam Yük

NKYP : Noktasal Kaynak Yük Payı

YKYP : Noktasal Kaynaklı Olmayan (Yayılı Kaynak) Yük Payı

EP : Emniyet Payı

GMTY hesaplamaları, kirleticinin kaynağı ile su kütlesinin kirliliğe tepkisi arasındaki neden-sonuç ilişkisini ortaya çıkarmak için hem model tabanlı hem de modelsiz metodolojileri kullanabilir. Bu yöntemler, karmaşıklık, tahmin teknikleri, uygulama zaman çizelgeleri ve konumları ve ihtiyaç duyulan verilerin özgüllük düzeyi açısından birbirinden farklılık göstermektedir (Camacho et al., 2018).

Modelleme yaklaşımları: Kaynaklar arasındaki ilişkileri ve bu kaynakların çevredeki ortam ve mansap alanları üzerindeki etkilerini gösteren matematiksel

modeller, yük paylaşımına öncelik vermede esneklik sunmaktadır. Suyun kalitesini değerlendirmeye yönelik modeller arasında QUAL2E/QUAL2E-UNCAS, WASP, BASINS, SIMCAT ve MIKE-11 yer almaktadır.

Modelsiz yaklaşımlar: Ampirik hesaplamalara dayanan ve modelleme yaklaşımlarından daha az zaman ve iş gerektiren bu yöntemler, havzayı, su kütlelerini ve mevcut kirlilik kaynaklarını daha doğrudan ele almaktadır. Yük süre yaklaşımı, kütle denge analizi ve yüzde azaltım modelsiz yaklaşımlara örnek olarak verilebilir (Ölmez, 2014).

Yük süre yaklaşımı: yükleme kapasitesi eğrisi, gözlemlenen akış koşulları ve su kalitesi standartları kullanılarak elde edilmektedir.

Denge hali ya da kütle denge analizi: Sadece su kütlelerine karışan yükleri, ardından kirleticilerin akıbetini ve hareketini ele alan ve su kütlesi içindeki kütlenin korunması öncülüne dayanan bir yaklaşım modelidir.

Yüzde azaltım: mevcut kirleticiler konsantrasyonları çevresel kalite standartları ile karşılaştırılarak, yükleme kapasitesi gerekli yüzde azalma miktarı olarak hesaplanmaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018).

### **3.3. Su Kalite İndeksi**

Su kalitesi yönetimi, değerlendirilmesi ve sentezlenmesi zor olabilecek büyük su kalitesi veri setlerinin toplanmasını ve analiz edilmesini gerektirir (Uddin et al., 2021). Su kaynakları kullanım amaçlarına göre uygun stratejilerle yönetilmelidir. Bir nehir havzası bazında suyun istenilen amaca uygun durumda olmasını sağlamak için fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörleri dikkate alan modellere ihtiyaç duyulmaktadır (Kayadelen, 2022).

Su kalitesi indeks modeli, bir akarsuyun su kalitesinin iyi, orta veya kötü olarak ifade edilebildiği tek boyutsuz bir terimdir. Çeşitli su kalitesi parametrelerinin sayısal değerlerini karşılaştırmak yerine, su kalite indeksi değerleri karşılaştırılarak farklı bölgelerin su kalitesi kolayca karşılaştırılabilmektedir (Nayak et al., 2020).

Bu çalışmada iki farklı su kalite indeks metodundan yararlanılmıştır. Bunlar, Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks Modeli (USV-SKİ) ve Kanada Çevre Bakanlığı Su Kalite İndeks Modeli (KÇBK-SKİ)'dir. Bu indeks modellerinin tanımlamaları ve hesaplama adımları kısaca bahsedilecektir.

### 3.3.1. Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks Modeli (USV-SKİ)

Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks Modeli (USV-SKİ), Brown tarafından 1970’de Horton modelinin değiştirilmiş bir versiyonu olarak geliştirilmiştir. Çalışmalar Ulusal Sanitasyon Vakfı tarafından desteklendiğinden dolayı bu yöntem USV-SKİ olarak isimlendirilmiştir. Çeşitli alanlarda yüzey suyu kalitesini değerlendirmek için kullanılmaktadır (Nayak et al., 2020).

USV-SKİ geliştirme araştırması için 142 su kalitesi uzmanından oluşan bir panel ekibi oluşturularak indekse dahil edilmesi muhtemel 35 parametrenin önem düzeyini gözeterak “dahil edilsin”, “kararsız” veya “dahil edilmesin” sıralanması istenmiştir. Panelistlerden daha sonra indeks için en önemli olduğu düşünölen 15 parametreyi sıralamaları istenmiştir. Uzmanlar tarafından derecelendirilen parametrelerden en sık bahsedilen 11 parametre belirlenmiştir (Abbasi & Abbasi, 2012). Bu parametreler 5 grup şeklinde önerilmiştir: fiziksel parametreler (sıcaklık, bulanıklık ve toplam katı madde), kimyasal parametreler (pH ve çözönmüş oksijen), biyolojik parametreler (feka koliform ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı), besin parametreleri (toplam fosfat ve nitratlar) ve toksik parametreler (pestisitler ve toksik bileşikler)’dir (Nayak et al., 2020). Her paneliste diğör panelistlerin en çok vurguladığı 11 parametre gösterilmiş ve parametrelerin çeşitli konsantrasyonlarda su kalitesindeki değışim değörleri sorulmuştur. Her parametreye kendi konsantrasyon/değör grafiğı oluşturulup, su kalitesi seviyesindeki değışimin en iyi tespit göröldüğü eğriler elde edilmiştir. Pestisitlerin ve tehlikeli bileşenlerin, konsantrasyonu 0,1 mg/l’den büyük olduğunda su kalitesi indeksi için değör sağlamadığı bulunmuş ve bu iki parametre dışında kalan 9 parametre ile çalışılmaya devam edilmiştir (Abbasi & Abbasi, 2012).

Sıcaklık (T), pH, bulanıklık (NTU), çözönmüş oksijen (ÇO), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ<sub>5</sub>), feka koliform (E. coli), toplam fosfat (PO<sub>4</sub>), nitrat (NO<sub>3</sub>) ve toplam katı madde (TKM) olmak üzere 9 adet su kalite parametresi belirlenen parametrelerdir (Kumar & Alappat, 2009). Ağırlıklı etki eğrisi, su kalite parametre verilerinden sayısal bir Qi değörünün elde edildiğı grafiklerdir. Denklem 3.2, indeks modeli için matematiksel ifadeyi sağlamaktadır (Effendi et al., 2015).

$$NSF\ WQI = \sum_{i=1}^n Q_i W_i \quad (3.2)$$

Burada Qi, su kalitesi parametresi için bir alt indekstir, Wi ilgili ağırlığıdır ve

n, su kalitesi parametrelerinin toplam sayısıdır. "“Field Manual for Water Quality Monitoring” kitabı, incelenen dokuz parametrenin konsantrasyonlarına karşılık gelen değerler olan Qi değerlerini okumak için çizelgeler içermektedir (Ichwana et al., 2016). Su kalitesi parametresiyle ilişkili ağırlıklı etki (Wi) değerleri Tablo 3.5 ’te verilmiştir.

Tablo 3.5. Ulusal Sanitasyon Vakfı (USV) Su Kalite İndeksinde Kullanılan Parametrelere ait Ağırlık Etki Değerleri (Uddin et al., 2021)

| Parametre                                         | Ağırlık Değeri (Wi) |
|---------------------------------------------------|---------------------|
| Çözünmüş Oksijen (ÇO)                             | 0,17                |
| Fekal Koliform (E. Coli)                          | 0,16                |
| pH                                                | 0,12                |
| Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ <sub>5</sub> ) | 0,10                |
| Nitrat (NO <sub>3</sub> )                         | 0,10                |
| Toplam Fosfat (PO <sub>4</sub> )                  | 0,10                |
| Sıcaklık (T)                                      | 0,10                |
| Bulanıklık (NTU)                                  | 0,08                |
| Toplam Katı Madde (TKM)                           | 0,07                |
| <b>Σ Wi</b>                                       | <b>1,00</b>         |

Tablo 3.6. Ulusal Sanitasyon Vakfı (USV) Su Kalite İndeksi Yöntemine göre Su Kalite Değerleri (Uddin et al., 2021)

| Su Kalite Değeri | Su Kalite Derecelendirmesi |
|------------------|----------------------------|
| 91 – 100         | Mükemmel                   |
| 71 – 90          | İyi                        |
| 51 – 70          | Orta                       |
| 26 – 50          | Kötü                       |
| 0 – 25           | Çok Kötü                   |

Tablo 3.6’da görüldüğü gibi model, 0 ile 100 arasında değişen bir su kalite indeks değeri verir. 0, çok kötü su kalitesini ve 100 mükemmel su kalitesini göstermektedir.

### 3.3.2. Kanada Çevre Bakanlığı Su Kalite İndeks Modeli (KÇBK-SKİ)

Kanada Su Kalitesi İndeksi, Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi tarafından tüm Kanada’da, eyaletler arasında kullanılması amacıyla geliştirilmiştir. Literatürde Kanada Çevre Bakanları Konseyi indeksi olarak da yer almaktadır (Neary et al., 2001).

İndeks, karmaşık istatistiksel yöntemleri basitleştirir ve büyük veriler için uygulamayı kolaylaştırmaktadır. Böylece geniş alanlardan elde edilen çok sayıda verinin daha kolay anlaşılır hale getirilmesi kolaylık sağlamaktadır. KÇBK-SKİ aynı zamanda eksik verilere tolerans göstermekte ve bazı verilerin sahada veya laboratuvaradaki aksaklıklar nedeniyle üretilemediği durumlarda birçok avantaj sağlamaktadır (Yan et al., 2016).

İndeksin hesaplama mantığı parametrelerin örneklendirme sıklığını, başarısız parametrelerin sıklığını ve parametrelerin limit değerlerden sapma oranlarını baz almaktadır. Yapılacak çalışmalar lokasyona ve çevre koşullarına göre değişeceği için özel parametreler ya da zaman kavramı tanımlanmamaktadır. En az dört parametreye ait en az dört ölçüm değeri kullanılarak hesaplanabilmektedir (Bilgin, 2018).

Modelin çalışmasında, Faktör 1 (kapsam), Faktör 2 (frekans) ve Faktör 3 (genişlik) birer vektör olarak kabul edilip nihai olarak bu üç vektörün bileşkesi hesaplanmaktadır (CCME, 2001).

Faktör 1 (F1): Kapsam olarak adlandırılmaktadır. Mevzuatta ya da yasal düzenlemede verilen limit değeri aşan parametrelerin toplam parametrelere göre yüzdesidir. Denklem (3.3)'de formülize edilmiştir. Örneğin indeksi hesaplamak için on farklı parametre kullanılıyor ve her bir parametre için de beşer adet deney yapılıyor olsun. Kaç adet deney sonucunun sınır değeri aştığına bakılmaksızın, eğer bir parametre kapsamında yapılacak beş deneyden biri bile sınırı sağlamıyorsa o parametre geçersiz sayılmaktadır.

$$F1 = \frac{\text{Başarısız parametre sayısı}}{\text{Toplam parametre sayısı}} \times 100 \quad (3.3)$$

Faktör 2 (F2): Frekans olarak adlandırılmaktadır. Hangi parametre olduğuna bakılmaksızın, toplamda kaç deneyin kabul edilen sınır değerlerin altında ya da üzerinde olduğunun toplam deney sayısına göre yüzdesidir. Denklem (3.4)'te formülize edilmiştir. Örneğin; parametre özelinde düşünmeden, toplam on parametre için beşer deney yapılıyorsa elli deney içerisinde kaç sonucun yasal limitleri sağlamadığının göstergesidir.

$$F2 = \frac{\text{Başarısız deney sayısı}}{\text{Toplam deney sayısı}} \times 100 \quad (3.4)$$

Faktör 3 (F3): Genişlik olarak adlandırılmaktadır. Sınır değerlerin ne oranda saptığının miktarıdır. Üç aşamada hesaplanmaktadır.

Sapma değerleri koşullu olarak üç duruma göre hesaplanmaktadır:

- Parametre değeri, limit değerden fazla olamazsa Denklem 3.5'e göre hesaplanır. Örneğin bir X parametresinin ölçülen değerinin 50 mg/L'nin üzerinde olmaması isteniyorsa ve deney sonucunda 60 mg/L bulunmuşsa, sapma değeri (60/50)-1 şeklinde hesaplanmaktadır.

$$sapma_i = \left( \frac{Başarısız\ deney\ değeri_i}{Hedef\ değeri} \right) - 1 \quad (3.5)$$

Parametre değeri, limit değerden az olamazsa Denklem 3.6'ya göre hesaplanır. Örneğin bir Y parametresinin ölçülen değerinin 50 mg/L'nin üzerinde olması isteniyorsa ve deney sonucunda 40 mg/L bulunmuşsa, sapma değeri (50/40)-1 şeklinde hesaplanmaktadır.

$$sapma_i = \left( \frac{Hedef\ değeri}{Başarısız\ deney\ değeri_i} \right) - 1 \quad (3.6)$$

Limit değer sıfır ise Denklem 3.7 geçerlidir. Örneğin bir Z parametresinin ölçülen değerinin sıfır olması yani ortamda hiç olmaması isteniyorsa ve deney sonucunda 10 mg/L bulunmuşsa, sapma değeri 10'a eşittir.

$$sapma_i = Başarısız\ deney\ değeri_i \quad (3.7)$$

İkinci aşamada, ilk basamakta elde edilen sapma değerlerinin toplamının toplam deney sayısına (limit değerleri sağlayıp sağlamadığına bakılmaksızın) oranı Denklem 3.8'e göre hesaplanır. Bu değere normalleştirilmiş sapmalar toplamı (nst) denir.

$$nst = \frac{\sum_{i=1}^n sapma_i}{Toplam\ Deney\ Sayısı} \quad (3.8)$$

Üçüncü aşamada ise, nst değerlerinin hedef değerlerden 0 - 100 aralığında ölçeklendirilerek F3'ün hesaplanması sağlanmaktadır (3.9).

$$F3 = \left( \frac{nst}{0,01nse+0,01} \right) \quad (3.9)$$

Nihai olarak, elde edilen F1, F2 ve F3 değerleri kullanılarak su kalitesi indeksinin hesaplanması sağlanmaktadır. Vektörel büyüklüğü skaler hale getiren formül Denklem 3.10'da verilmektedir.

$$KÇBK\ SKİ = 100 - \left[ \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right] \quad (3.10)$$

Burada kullanılan 1,732 faktörü sayesinde elde edilecek sonucun 100 değerini

aşmaması sağlanır (3.11).

$$\sqrt{100^2 + 100^2 + 100^2} = \sqrt{30000} = 1,732 \quad (3.11)$$

Elde edilen indeks skoru, Tablo 3.7'ye göre sınıflandırılarak su kalitesi derecesi belirlenmektedir.

Tablo 3.7. KÇBK SKİ Puanlama Sistemi (Hurley et al., 2012)

| Puan        | Derece   | Yorum                                                                                                  |
|-------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 95,0 – 100  | Mükemmel | Su kalitesi, içme suyu kaynağı olarak kullanım için tüm kriterleri karşılamakta                        |
| 80,0 – 94,9 | İyi      | Su kalitesi, içme suyu kaynağı olarak kullanım kriterlerini nadiren veya dar bir şekilde ihlal etmekte |
| 65,0 – 79,9 | Orta     | Su kalitesinin önemli ölçüde standartların altına düştüğü durumlar mevcut                              |
| 45,0 – 64,9 | Zayıf    | Su kalitesi, içme suyu kaynağı olarak kullanılmak için sıklıkla standartların çok gerisinde kalmakta   |
| 0 – 44,9    | Kötü     | Su kalitesi, içme suyu kaynağı olarak kullanım için herhangi bir kriteri karşılamamakta                |

Kanada Su Kalitesi İndeksi, herhangi bir spesifik parametre gerektirmemesi gibi büyük bir avantaja sahiptir. Hedef parametreleri seçerken oldukça basitlik ve çok yönlülük sunmaktadır. Çeşitli yasal kısıtlamalara tabi olarak kullanılabilir. Çok çeşitli uluslararası lokasyonlarda kullanılmaktadır. Sonuçları açısından da son derece anlaşılırdır. İndeks modelinin bazı dezavantajları mevcuttur; sonuçlar indeks formülüne son derece duyarlıdır, limit değerler veya parametre seçimi ile kolayca manipüle edilebilir, çalışmalar sadece o lokasyonu temsil eder ve dünyadaki diğer örneklerle karşılaştırmak zordur. Öte yandan, su kalitesi belirlenirken bazen uygun parametreler seçilmemekte, kalite kısmen belirlenebilmekte, her bir parametrenin göreceli önemine bakılmaksızın eşit ağırlık verilmesi gibi durumlar indeksin hesaplanmasında olumsuz uygulamalardır (Bilgin, 2018).

### 3.4. Bulanık Mantık Yaklaşımı

Bulanık mantık, Zadeh (1965) tarafından daha önceki analitik yöntemlerden çok insan düşüncesine benzeyen sistemler yaratmak için bir araç olarak önerilmiştir

(Köksal, 2022). Bulanık mantık, niteliksel ve niceliksel modellemenin iki alanını birbirine bağlamaktadır. Belirsiz ve kesin olmayan koşullar altında karmaşık sistemleri modellemek için geliştirilmiştir (H. Gharibi et al., 2012).

Bulanık kurallara dayalı modeller, bilgi ve verilerdeki belirsizlikleri ve yanlışlıkları temsil etmek için yeterli araçlar olarak görülmektedir. Bu modeller, kesin bir nicel analiz olmaksızın bilginin ve çıkarım süreçlerinin nitel yönlerini temsil edebilmektedir (Lermontov et al., 2009). Bulanık kurallara dayalı modellerin gerekçelendirilmesinde altı neden vardır (Lermontov et al., 2009):

- 1) Çok çeşitli doğrusal olmayan ilişkileri tanımlamak için kullanılabilir,
- 2) Bir dizi yerel basit modele dayandıkları için basit olma eğilimindedir,
- 3) Sözlü olarak yorumlanabilirler ve bu onları yapay zeka modellerine benzer kılar,
- 4) Bireysel bilgi ve deneyim gibi diğer yöntemlerin içermeyeceği bilgileri kullanır,
- 5) Bir nehrin ekolojik durumunu ifade eden nicel ve nitel verileri genişletip birleştirerek yapay kesinlikten kaçınmaya ve ekolojik karmaşıklığa daha benzer sonuçlar üretmeye olanak tanır,
- 6) Bulanık mantık, nihai sonuçtan ödün vermeden eksik verileri ele alabilmekte ve işleyebilmektedir.

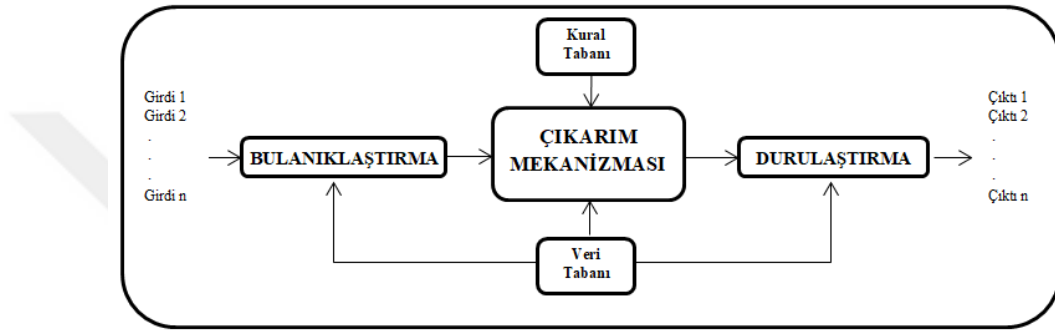
Klasik mantık, 1 ve 0 (0 ve 1 dahil) gibi kesin değerler üzerinde çalışırken, bulanık mantık, bir kümenin üye ve üye olmayan fonksiyonlarını, 0 ile 1 arasında herhangi bir sayı olabilen üyelik dereceleri atayarak sınıflandırmaktadır. Bu üyelik derecesi aidiyeti gösterir. Verilen kümedeki bir değişkenin bir elemanın üyeliği, üyelik değeri ile orantılıdır. Böyle bir fonksiyona üyelik fonksiyonu, kümeye de bulanık küme denir (Lermontov et al., 2009).

Bulanık mantığın en temel elemanı bulanık kümedir. Zadeh (1965) bulanık kümeyi, değişik üyelik fonksiyonları olan bir küme türü olarak tanımlamıştır. Bulanık kümeler, tıpkı klasik kümeler gibi kesişim ve birleşim işlemlerine sahiptir. Bunları tanımlamak için birleşim ve kesişim işlemlerinin minimum ve maksimum fonksiyonları kullanılır. Bulanık mantıkta, “veya” ve “ve” bağlaçları sırasıyla maksimum ve minimum değerleri ifade eder. Burada “veya” ve “ve” bağlaçları,

sırasıyla birleşim ve kesişim işlemi için kullanılmaktadır (Khazaei & Hosseini, 2015).

### 3.4.1. Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi

Bulanık çıkarım, bulanık mantık kullanarak bir girdi kümesini bir çıktı kümesine eşleyen süreçtir (Lermontov et al., 2009). Bir bulanık mantık çıkarım sistemi: bulanıklaştırma, bulanık çıkarım ve durulaştırma olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır (Li et al., 2016). Şekil 3.5'te bulanık mantık çıkarım sisteminin genel şeması verilmiştir.



Şekil 3.5. Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (Yıldırım, 2012)

Bulanıklaştırma, sistemin ilk adımıdır ve girdilerin bir değişkenin sayısal değerinden, değişkenin özelliğini tanımlayan bir üyelik derecesine dönüştürülmesini içermektedir (Li et al., 2016).

Çıkarım mekanizması, bulanık sistemin ikinci aşamasıdır. Burada kaydedilen bilgi kümeleri, bulanık bir sonuç üretmek için çıkarım mekanizmasındaki hesaplamadan veya tahminden gelen bulanık değerlerle (üyelik dereceleri) birleştirilir (Yıldırım, 2012). Her değişken veya girdi, kendi söylem evreni olarak adlandırılan bir alana sahiptir ve bu uzaydaki her küme, “düşük”, “orta” ve “yüksek” gibi dilbilimsel bir terimle ifade edilir. Değişkenler arasındaki ilişkiler daha sonra if-then kuralları tarafından tanımlanır. Kural tabanına aşağıdaki şekilde oluşturulabilir:

*Kural 1: if (x is Bx) and (y is Dy) then (z is Bz)*

*Kural 2: if (x is Bx) and (y is Cy) then (z is Cz)*

*Kural 3: if (x is Ax) and (y is Dy) then (z is Dz)*

*Kural 4: if (x is Ax) and (y is Cy) then (z is Ez)*

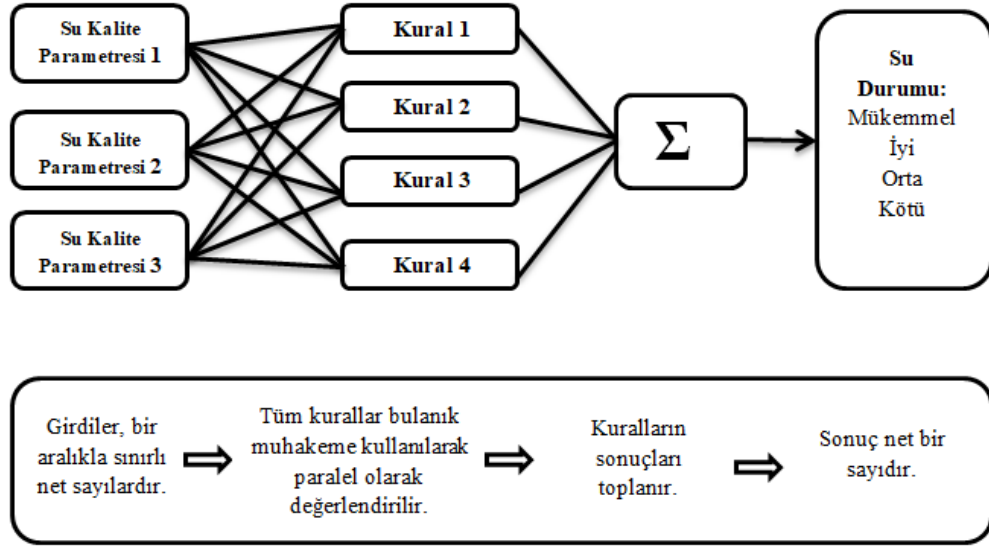
Verilen bu kural cümlelerinin doğrultusunda sistem bulanık z çıktıları vermektedir (H. Gharibi et al., 2012).

Durulaştırma sistemin üçüncü basamağıdır. Bulanık tabanlı bir sistem, çıktı olarak uzman olmayan kişilerin anlayabileceği bir biçimde olmayan son bir bulanık değişken üretir. Bu nedenle, bulanık değişken, bir durulaştırma işlemi yoluyla net bir sayısal değere dönüştürülmektedir. Maksimumların ortalaması (MOM), ağırlık merkezi yöntemi (COG), ağırlıklı ortalama yöntemi ve maksimum yöntemi dahil olmak üzere en iyi kesin değeri bulmak için çeşitli yöntemler oluşturulmuştur. Durulaştırma için en yaygın olarak kullanılan yöntemler, MOM ve COG'dir. İlki, çıktı üyelik fonksiyonlarının maksimumlarının ortalamasını hesaplarken, ikincisi bulanık değişkenin geometrik merkezini gösterir (H. Gharibi et al., 2012).

#### **3.4.2. Su Kalitesi Belirlenmesinde Bulanık Mantık Sisteminin Yeri**

Kavramsal olarak anlaşılması kolay ve doğal dile dayalı olarak karakterize edilen bulanık kümeler, doğrusal olmayan fonksiyonları modellemek, uzmanların deneyimlerine dayanarak çıkarım sistemleri oluşturmak ve kesin olmayan verileri değerlendirmek için başarıyla kullanılmaktadır. Bulanık mantık uygulamaları, suyla ilgili karmaşık çevre problemlerine cevap bulmada, bulanık akıl yürütmeye dayalı bir su kalitesi indeks geliştirmede etkin bir modeldir (Ocampo-Duque et al., 2006).

Bulanık mantık, su kalitesinin önemli parametrelerini entegre edebilir ve rastgele olayların çevresel faktörlerini halk ve uzmanlar için anlaşılır ve şeffaf alt kümelere sınıflandırabilir ve doğrusal olmayan bilgilerin doğasında var olan belirsizliği açıklayan bir formülasyon sağlayabilir. Bulanık modeller, girdi değişkenlerinin doğrusal olmayan ilişkilerine izin verir ve eğer-ise kurallarını kullanarak bunları çıktıya bağlamaktadır. Dilsel terimler olarak tanımlanan uzman yargısını bulanık kurallara dayalı matematiksel bir çerçeveye dönüştürürler (Golshan et al., 2020). Şekil 3.6, su kalitesi sınıflandırma problemi için bir girdi-çıkı haritasını göstermektedir.



Şekil 3.6. Bulanık Sistemde Su Kalitesinin Girdi-Çıktı Şeması (Ocampo-Duque et al., 2006)

Su kalitesi indeks belirleme modelinin uygulama adımları: Parametre seçimi modelin ilk basamağını oluşturmaktadır. Bu aşamada su kalite indeksini etkileyen parametreler seçilmelidir. Bir diğer basamak üyelik fonksiyonlarının seçimi ve üyelik derecelerinin (bulanık alt kümenin sınır değerleri) belirlenmesidir. Mevcut veri setine uygun üyelik fonksiyonu ve üyelik dereceleri belirlenmelidir. Modelin uygulanmasında bir sonraki basamak kural tabanının oluşturulmasıdır. Burada belirlenen parametrelerinin su kalitesinin değişimdeki etki düzeyi ön planda tutularak “if...then...” kuralları yazılır. En son basamakta dilsel terim olarak da ifade edilen bulanık nitel veriler nicel verilere dönüştürülüp elde edilen sonuç değerleri uzman olmayan kişilerin anlayabileceği düzeyde değerlendirilmektedir (Ocampo-Duque et al., 2006).

### 3.5. İstatistiksel Analizler

#### 3.5.1. Hazen İstatistiksel Veri Değerlendirme Yöntemi

Su kalitesine ilişkin veri setleri, %90 veya %95 olasılıkla aşamayacak değeri belirlemek için istatistiksel işlemlere tabi tutulmaktadır. Belirlenen değeri aşan veriler daha sonra veri setinden çıkarılır. Sınıflandırma, kalan verilerin aritmetik ortalamasına dayanmaktadır. Seçilen istatistiksel yaklaşıma bağlı olarak, yüzde değerleri hesaplanırken farklı sıra numarası formüllerine ve minimum veri sayısına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntemlerde kullanılan yüzdelikler ve yüzde kesirler için formüller Tablo 3.8’de verilmiştir. 10’dan az veri sayısı olduğunda, % değerini

hesaplamak imkansızdır; bu nedenle, verilerin aritmetik ortalaması alınarak oluşturulmaktadır (İkinci, 2016).

Tablo 3.8. İstatistiksel Veri Değerlendirme Formülleri (İkinci, 2016)

| Yöntem     | Yüzde Kesri                     | Yüzdelik Değer                                                                | %95'lik değer için gerekli minimum veri sayısı |
|------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Hazen      | $p = \frac{r - \frac{1}{2}}{n}$ | $P = 100 \cdot \left( \frac{n - \frac{1}{2}}{n} \right) = 100 - \frac{50}{n}$ | 10                                             |
| Weibull    | $p = \frac{r}{n + 1}$           | $P = 100 \cdot \left( \frac{n}{n + 1} \right) = \frac{100 \cdot n}{n + 1}$    | 19                                             |
| Logaritmik | $p = 0,95$<br>$p = 0,90$        | $P = \log - 1(\mu + 1,65 \sigma)$<br>$P = \log - 1(\mu + 1,282 \sigma)$       | Min. 3 yıllık veri                             |

r: Sıra no (küçük büyüğe doğru) n: Veri sayısı

p: Yüzde kesri P: Yüzdelik değer

Hazen yöntemin uygulanma aşamaları;

1. n adet su kalite verisi küçükten büyüğe doğru sıralanır. Veri seti sıralandıktan sonra  $X_i$ :  $i = 1, 2, \dots, n$  olarak adlandırılır.
2. Seçilen yöntemin gerektirdiği minimum veri sayısı kontrol edilir. Yeterli veri varsa, Hazen yönteminin hesaplama adımlarına geçilir.
3. Denklem 3.12 ve 3.13 kullanılarak yüzde kesri (p) ve sıra numarası (r) hesaplanır; sıra numarası genellikle kesirli bir sayıdır.

Yüzde kesri:

$$p = \frac{P}{100} \quad (3.12)$$

Sıra Numarası:

$$r = p \cdot n + \frac{1}{2} \quad (3.13)$$

4. Denklem 3.14 kullanılarak, r'ye karşılık gelen su kalitesi değeri ( $X_r$ ), kesirli sıra numarasının bir altındaki ve üstündeki tamsayılarla karşılık gelen veriler arasında doğrusal enterpolasyon yapılarak belirlenir.

$$X_r = (1 - f) \cdot X_i + f \cdot X_{i+1} \quad (3.14)$$

Burada;

$X_i$ : r'nin tam kısmı,

f: r'nin ondalık kısmıdır

### 3.5.2. Temel Bileşen Analizi (TBA)

En popüler çok değişkenli istatistiksel tekniklerden biri, çok sayıda bağlantılı değişkeni az sayıda önemli ve bağımsız bileşene indirgeyen faktör analizidir. "Faktör analizi" ifadesi, birbirinden farklı ama aynı zamanda bağlantılı olan yöntemleri ifade etmektedir. "Temel Bileşen Analizi", "Temel Faktör Analizi", "Görüntü Faktörleştirilmesi", "Maksimum Olasılık Faktörleştirilmesi", "Alfa Faktörleştirilmesi", "Ölçülmemiş En Küçük Kareler Faktörleştirilmesi" ve "Genelleştirilmiş veya Ölçülmemiş En Küçük Kareler Faktörleştirilmesi" gibi çeşitli faktör analizi türleri bulunmaktadır (Jolliffe & Cadima, 2016).

Temel Bileşenler Analizi, bileşenleri belirlemek için en çok kullanılan faktör analizi tekniğidir. Değişkenler arasında en fazla varyansı açıklayan ilk bileşen bu yöntem kullanılarak belirlenmektedir. Kalan maksimum varyans, ikinci bileşeni açıklamak için belirlenir ve bu böyle devam etmektedir. Burada, analizin çıktısı bileşenlerinin ortogonal olduğunu, yani aralarında hiçbir ilişki olmadığını bilmek önemlidir (Bayat et al., 2013).

Gerçek hayatta bilgi amaçlı analiz edilen verilerin çoğu çok sayıda değişken içeren ve yüksek boyutlu olarak adlandırılan verilerden oluşmaktadır. Boyutları küçültmek için iki tür teknik kullanılmaktadır. Bunlar; özellik seçimi ve özellik çıkarma yöntemleridir. Özellik seçme yöntemleri, veri kümesindeki en az ilgili değişkenleri eleme işlemidir. Özellik çıkarımı, uygun gözlem ve değişken kombinasyonları ile tüm verileri temsil eden yeni değişkenler oluşturma işlemidir. Özellik çıkarma yöntemlerinde veri ve bilgi kaybı minimum düzeydedir ve bu nedenle özellik seçme yöntemlerine göre daha avantajlıdır. Temel bileşen analizi, özellik çıkarma yöntemleri arasında en iyi bilinen ve yaygın olarak kullanılan yöntemdir.

Temel Bileşen Analizi Aşamaları (Sonay, 2022):

1. Mevcut verilerden en önemli bilgileri çıkarmak,
2. Veri setini sıkıştırarak boyut sayısını azaltmak,
3. Tüm veri setini tanımlayabilen daha basit bir form elde etmek,
4. Gözlemlerin ve değişkenlerin yapısını ve ilişkilerini incelemek ve
5. Veri kümesindeki aykırı değerleri algılamaktır.

### 3.5.2.1. Temel Bileşen Analizi Adımları

Temel bileşen analizinin dört temel aşaması vardır. Veri setinin analiz için uygun olup olmadığının belirlenmesi, bileşenlerin eldesi, bileşenlerin döndürülmesi ve bileşenlerin adlarının verilmesini içermektedir (Kurt, 2012).

### 3.5.2.2. Veri Setinin TBA Analizi için Uygunluğunun Değerlendirilmesi

Veri setinin TBA analizi için uygunluğu üç farklı yöntem kullanılarak değerlendirilmektedir. Korelasyon matrisinin geliştirilmesi, Bartlett testi ve Kaiser Meyer-Olkin (KMO) testleridir. Değişkenler arasındaki anlamlı korelasyonlar göz önüne alındığında, veri seti TBA analizi için uygundur ve “Korelasyon matrisi birim matristir” hipotezinin reddedildiği ortaya çıkmaktadır. Bartlett testi, korelasyon matrisindeki değişkenlerin en azından bazıları arasında yüksek oranlarda korelasyon olma olasılığının olup olmadığını belirler. Gözlenen korelasyon katsayılarının büyüklüğünü kısmi korelasyon katsayılarının büyüklüğüyle karşılaştıran bir ölçü, Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) örnekleme yeterlilik kriteri olarak bilinmektedir. Kaiser-Meyer-Olkin kriteri 0,9 ile 1 arasında mükemmel, 0,8 ile 0,89 arasında çok iyi, 0,7 ile 0,79 arasında iyi, 0,6 ile 0,69 arasında orta ve 0,5 ile 0 arasında ise zayıftır. Veri seti 0,5’in altında olduğunda faktör analizi için uygun değildir. TBA analizi için, veri setinin KMO oranı 0,5’ten büyük olmalıdır; oran ne kadar büyükse analiz için okadar uygundur (Schreiber, 2021).

### 3.5.2.3. Temel Bileşen Analizi Matematik İşlem Adımları

Temel Bileşen Analizinde birinci temel bileşen (PC1), maksimum varyansa sahip gözlemlerin lineer birleşimidir ve ikinci ana bileşen (PC2), maksimum varyansa sahip gözlemlerin birinci ana bileşene (PC1) dik olarak doğrusal kombinasyonudur.  $y_1, y_2, \dots, y_n$ ,  $p$  boyutlu uzaydaki gözlem vektörleridir ve  $\bar{y}$ , bu vektörlerin ortalama vektörüdür.  $y_1, y_2, \dots, y_p$ , değişkenler için nokta yığıdır. Temel bileşenler analizinde ilk işlemler dönüştürme ve rotasyondur. Dönüştürme işleminde, her  $y_i$  ham verisi  $\bar{y}$ ’ye çevrilir ve bazı durumlarda  $y_i - \bar{y}$  dönüşümü uygulanır. Ancak genel olarak her  $y_i$ ’nin merkezi olduğu varsayılır. Bu yöntemin temel amacı, noktalar için en uygun eksenleri bulmaktır. Temel Bileşen Analizi’nin ikinci önemli yöntemi rotasyondur. Döndürme aşamasında, her  $y_i$ , ortogonal A matrisi ile çarpılır ve yeni değişkenler (PC’ler)  $z_1, z_2, \dots, z_p$  elde edilir.

Ortogonal matris, her bir noktayı  $y_i$  orijinden aynı uzaklıkta olan bir  $z_i$

noktasına dönüştürür ve bu yeni değişkenler ilintisizdir (Denklem 3.15).

$$A = \begin{pmatrix} a'_1 \\ \vdots \\ a'_p \end{pmatrix}; \quad z_l = A * y_l, \quad i = 1, \dots, p \quad (3.15)$$

$$z_1 = a'_1 y, z_2 = a'_2, \dots, z_p = a'_p y \Rightarrow \text{Temel Bileşenler}$$

$$z_1 = a_{11}y_1 + a_{12}y_2 + \dots + a_{1p}y_p \Rightarrow PC1$$

$$z_2 = a_{21}y_1 + a_{22}y_2 + \dots + a_{2p}y_p \Rightarrow PC2$$

$$z_p = a_{p1}y_1 + a_{p2}y_2 + \dots + a_{pp}y_p \Rightarrow PCp$$

TBA'nın diğer detaylarını ele alacak olursak; z'nin örnek kovaryans matrisi ( $S_g$ ) ortogonal matris (A) ve  $y_1, y_2, \dots, y_n$  (S)'nin örnek kovaryans matrisi kullanılarak hesaplanmaktadır (Denklem 3.16).

$$S_z = \begin{pmatrix} S_{z_1}^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & S_{z_p}^2 \end{pmatrix} \quad (3.16)$$

Burada  $S_{z_1}^2 = \lambda_i$  ve  $\lambda_i, i = 1, \dots, p$ 'dir. S'nin temel bileşenlerin varyans değerlerine eşit olan özdeğerleridir. TBA'da bileşenlerin varyans değerleri  $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_p$  olarak düzenlenmektedir. Bu nedenle sırasıyla PC1 en büyük varyans değerine ve PCp en küçük varyans değerine sahiptir. Birinci temel bileşenin varyans değerinin en büyük olması değişkenlerin çoğunu oransal olarak temsil etmesinden kaynaklanmaktadır (Jolliffe & Cadima, 2016). Açıklanan varyans oranını belirlemekte Denklem 3.17 kullanılmaktadır.

$$\text{Açıklanan varyans oranı} = \frac{\sum_{i=1}^k \lambda_i}{\sum_{i=1}^p \lambda_i}; \quad (3.17)$$

burada; k = seçilen bileşen sayısıdır

### 3.6. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Coğrafi Bilgi Sistemleri, mekansal bilgileri verimli bir şekilde saptama, depolama, analiz etme ve görüntüleme sistemi olarak tanımlanmaktadır. Bir veritabanında saklanan öznitelik verileriyle grafik bilgileri verimli bir şekilde ilişkilendiren bir yazılım paketi olarak karakterize edilebilir ve bunun tersi de geçerlidir. CBS, harita ve grafik olmayan öznitelik verileriyle çalışırken verimliliği ve etkinliği artırmak için araçlar sağlamaktadır (Singh & Katiyar, 2021).

Mekansal veya coğrafi koordinatlarla atıfta bulunulan verileri kullanan bir coğrafi bilgi sistemi, bilgisayar tabanlı bir bilgi sistemidir. Araştırılan coğrafyaya bağlı olarak, hem dünya yüzeyindeki oluşumları hem de mekansal olmayan yönleri dijital olarak tasvir etmek ve analiz etmek için kullanılır. Herhangi bir veritabanını CBS ile ilişkilendirmek, dünyadaki her nesneyi coğrafi olarak referanslama kapasitesi gerektirir. CBS sistemi, coğrafi olarak referans verilen veriler için benzersiz özelliklere sahiptir ve verilerle çalışmak için bir dizi işlem içermektedir. Gelişmiş bir harita olarak da kabul edilebilmektedir (Buhan, 2019).

CBS sisteminin özellikleri:

- Belirli bir amaca ulaşmak için yeryüzü ile ilgili verileri toplamak, depolamak, sorgulamak, aktarmak ve görüntülemek için tüm teknolojiler birlikte çalışır,
- Genel harita bilgilerini göstermek için, bir tür bilgi yönetim sistemidir,
- Coğrafi verileri depolamak ve analiz etmek için bir bilgisayar sistemi kullanan bir araçtır,
- Referans olarak mekansal veya coğrafi koordinatlarla çalışmayı planlayan bir bilgi sistemidir,
- Yeryüzü referanslı verileri toplayan, depolayan, yöneten, çalıştıran, inceleyen ve sunan bir sistemdir.

### **3.6.1. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Genel Fonksiyonları**

Coğrafi bilgi sistemleri, veri toplama, veri oluşturma, veri depolama ve veri görüntüleme dahil olmak üzere çok çeşitli işlevleri yerine getirir. CBS fonksiyonları beş başlık altında toplanmaktadır; veri işlemleri, sorgulamalar, mekânsal analizler, senaryo analizleri ve çıktılarıdır (ESRI, 2014).

#### **Veri İşlemleri**

Veri toplama, depolama, güncelleme ve üretme ile ilgili yapılan uygulamalar veri işlemleri adı altında gerçekleştirilmektedir. Grafik veriler, çizelgesel veriler ve görüntü verileri gibi veriler entegre edilmektedir.

#### **Sorgulamalar**

Sorgulama yöntemi hem mekânsal hem de mekânsal olmayan veri tabanlarını kullanır. Mekânsal olmayan sorgulamalar öznitelik verisi olarak adlandırılırken,

mekansal sorgulamalar özdeğer verisi olarak adlandırılır. Bu veritabanında sözel verilerden mekânsal verilere ve mekânsal verilerden sözel verilere erişim mevcuttur.

#### Mekânsal Analizler

Mekânsal analizler coğrafi verinin sorgulanıp, görüntülenmesine olanak sağlamakta böylece CBS’de depolanan veriler üzerinde konuma dayalı karar verilebilmektedir. Temel Mekânsal Analizler, Ağ analizleri, Geometrik ve istatistiksel işlemler, sayısal arazi yükseklik modelleri başlıca mekansal analiz türleridir.

#### Senaryo Analizleri

Mekânsal analiz fonksiyonlarının çokluğu ve veri çeşitliliği farklı senaryoların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu sayede CBS mekânsal karar destek sistemlerinde etkin bir araç olarak kullanılmaktadır. Doğal afet, çevre etki değerlendirmesi ya da geleceğe yönelik tehminlerde senaryo analizleri uygulanmaktadır.

#### Çıktılar

Yapılan senaryolar neticesinde ortaya çıkan sonuç verileri karmaşık tablolar veya grafikler yerine anlaşılır görsel dokümanlar olarak ortaya çıkmaktadır (ESRI, 2014).

### **3.6.2. Su Havzası Yönetiminde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Yeri**

Su kaynaklarının bütünsel yönetimi, bilgi teknolojileri donanım ve yazılımları bir arada kullanıldığında uyumlu bir şekilde çalışması mümkün olmaktadır. Su kalitesi ve havza yönetiminde matematiksel modellerin yaygın kullanımı, 1970’ler ve 1980’lerde hızla gelişmeye başlayan bilgi teknolojisinin bir sonucudur (Özbayrak, 2011). ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA); 1987’de Ulusal Jeo-uzaysal Bilgi Sistemi Programını kurmuştur ve 1990’larda çevresel sorunları tanımlamak, değerlendirmek ve çözümlmek için CBS’nin nasıl kullanılabileceğine dair iki ulusal konferans düzenlemiştir. Bu konferanslar, CBS’nin çevresel konularda sıklıkla kullanıldığını göstermiştir (Nas et al., 2002).

Uzaktan algılama teknikleri ile su kütlelerini daha etkin ve verimli bir şekilde izlemek ve su kalitesiyle ilgili sorunları ölçmek mümkündür. Bu yaklaşımlar ayrıca yüzey suyu kalitesi göstergelerinin mekansal ve zamansal bir haritalama sunmaktadır (Gholizadeh et al., 2016). Bu çalışmada coğrafi koordinatlarla çalışılarak, toplanan, depolanan ve sorgulanan verilerin aktarımları yapıldıktan sonra çeşitli referanslar gözetilerek mekansal ve zamansal bir perspektifte görüntülenmesi sağlanmaktadır.

#### 4. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Havzaların karakteristiğini ortaya koyan, su kaynaklarını tehdit eden unsurları belirleyen ve havzalardaki su kalite indeks değerlerini mevzuatlarla ilişkilendirerek, havzanın baskın kirletici özelliklerini tanımlayan parametreleri tespit etmek amacıyla Dünya’da ve Türkiye’de farklı çalışmalar yürütülmüştür. Bu bölümde yapılan çalışmalardan örnekler özetlenerek sunulmuştur.

Semiromi et al., 2011 tarafından yapılan çalışma, bulanık su kalite indeksi (B-SKİ) adı verilen yeni bir indeksin geliştirilmesini hedeflemektedir. Uzman görüşlerine ve deneyimlere dayanarak, yüzey suyu kaynaklarının kalitesini değerlendirmek için çözülmüş oksijen, bulanıklık, pH, tuzluluk, nitrat ve fekal koliform dahil olmak üzere altı su kalitesi parametresi, B-SKİ’nin önemli gösterge parametreleri olarak kabul edilmiştir. Yeni indeksin uygulaması, İran’daki Karoon Nehri üzerindeki bir örnekleme istasyonundan alınan su kalite verilerine dayalı olarak yürütülmüştür. Bulanık model, Karoon Nehri’nde beklenen sonuçlarla su kalitesinin yüksek sürdürülebilirliğe sahip olduğunu göstermiştir. Yeni indeks modelinin, karar vericilere su kalitesinin durumunu bildirme ve nehirdeki mekânsal ve zamansal değişiklikleri araştırma konusunda yardımcı olacağına inanılmaktadır. Bulanık mantığa dayalı model, altı parametre için gelecekte su kalite indeksinin belirlenmesi için kullanılabilir olduğuna çalışmada değinilmiştir.

Akkoyunlu & Akiner, 2012 tarafından yapılan çalışmada, Sapanca Gölü Havzası’ndaki (Türkiye) akarsu kalitesi, Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi Su Kalitesi İndeksi (KÇBK – SKİ), Oregon Su Kalitesi İndeksi (OSKİ) ve Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeks (USV-SKİ) açısından değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, akarsulardaki mevcut kirlilik durumunu görmek ve ayrıca yerel verileri kullanarak sıklıkla kullanılan üç uluslararası su kalitesi indeksini karşılaştırmaktır. Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeksi’nden (USV-SKİ) uyarlanan modifiye bir model hazırlanmıştır. Modifiye edilmiş su kalite indeksi; pH, sıcaklık (T), iletkenlik (EC), çözülmüş oksijen (ÇO), askıda katı madde (AKM), toplam çözülmüş katılar (TÇM), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), klorür (Cl), sülfat (SO<sub>4</sub>), ortofosfat-fosfor (oPO<sub>4</sub>-P), nitrat (NO<sub>3</sub>-N), nitrit (NO<sub>2</sub>-N), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ<sub>5</sub>) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)’ni içerir. Sınırlı miktarda parametre kullanarak yeterli sonuç elde etmek için değiştirilmiş indeksler geliştirmek, çok sayıda parametreyi ölçmek için gereken maliyeti azaltmak için

yapılmıştır. Dolayısıyla bu araştırmanın amacı kirlilik parametrelerinin sayısını azaltmaktır. Bu amaçla, sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen, toplam askıda katı madde ve elektriksel iletkenliği dikkate alan  $SKI_{min}$  (minimum) hesaplanmıştır. Aynı metodoloji ötrofikasyon parametreleri kullanılarak tekrarlanmıştır.  $CO$ ,  $o-PO_4-P$ ,  $NO_3-N$ ,  $NO_2-N$ ,  $BOI_5$  ve  $KOI$  parametreleri kullanılarak  $SKI_{otr}$  (ötrofikasyon) adlı alternatif bir indeks geliştirilmiştir. Geliştirilen indeksler ile on beş parametrelilik su kalite indeksi arasında iyi bir ilişki bulunmuştur. Son olarak, araştırma Sapanca Gölü ve onu besleyen akarsular için bir ötrofikasyon tehdidini ortaya çıkardığı saptanmıştır.

Hamed Gharibi et al., 2012 çalışmada, bulanık mantığa dayalı yeni bir su kalitesi indeks ve yüzey suyu kalitesinin rutin değerlendirmesi için çevresel indekslerin geliştirilmesine yönelik kapsamlı bir yapay zeka yaklaşımı geliştirmek amaçlanmıştır. Değerlendirmeye su kalitesi için kritik öneme sahip olduğu düşünülen yirmi parametre dahil edilmiştir. Önerilen indeksin gerçek koşullar altındaki performansını değerlendirmek için İran'daki Mamloo barajında 2006'dan 2009'a kadar barajın su havzasındaki dört numune alma istasyonunun su kalitesi verileri toplanarak çalışmalar yürütülmüştür. Çalışma döneminin tüm yıllarında tüm örnekleme istasyonlarındaki suyun genel kalitesi oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir (yıllık ortalamalar genellikle 45-55 aralığındadır). ANOVA testi sonuçlarına göre, örnekleme istasyonlarının hiçbirinde su kalitesi zaman içinde önemli ölçüde değişmemiştir ( $P > 0,05$ ). Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeksi (USV-SKİ) ve Kanada Su Kalitesi İndeksi (KÇBK-SKİ) ile önerilen bulanık tabanlı indeksin çıktılarının karşılaştırılması benzer sonuçlar göstermiştir. Ancak bu çalışma tarafından önerilen bulanık tabanlı indeksin, USV-SKİ ve KÇBK-SKİ'ye kıyasla çalışma havzası için daha uygun bir model olduğu saptanmıştır. Duyarlılık analizi sonuçları, indeksin kurallardaki değişikliklere karşı dayanıklı olduğunu göstermiştir.

İkinci, 2016 tarafından yapılan çalışmada, Sakarya nehri Aşağıdereköy deresinden 2012, 2013 ve 2014 yılları boyunca 8'er örnek alınarak 24 örnekleme yapılmıştır. Hazen yöntemine göre %95 olasılıkla aşamayacak (P) değerler hesaplanarak Yüzeysel Su Kalitesi Yönetmeliği Tablo 4'e göre değerlendirilmiştir. Değerlendirme yapılırken, yönetmeliğe uygunluk sağlaması için genel şartlar (pH, sıcaklık, iletkenlik), oksijenlendirme (kimyasal oksijen ihtiyacı, çözülmüş oksijen, % doygunluk), nutrient (nitrat azotu, nitrit azotu, amonyum azotu) ve iz elementler

(florür) olarak kategorize edilmiştir. Yönetmeliğe göre genel şartlar bakımından III. sınıf, oksijenlendirme parametrelerine göre II. sınıf, nutrient parametrelerine göre IV. sınıf ve iz element parametrelerine göre ise I. sınıf su kalite sınıfında olduğu tespit edilmiştir.

Dede & Sezer, 2017 yaptıkları çalışmada, Giresun ili için önemli bir içme suyu kaynağı olan Aksu Çayı'nda, 12 aylık bir süre boyunca su kalitesi verileri üç farklı istasyondan toplanmış ve her bir istasyondan alınan örneklerde 36 su kalite parametresine bakılmıştır. Su kalitesini etkileyen başlıca kirleticilerin çözünmüş oksijen, Top. coli, E. coli ve fenol parametreleri olduğu belirlenmiştir, bunların tamamı su kalite standartlarında belirtilen sınır değerlerin dışında bulunmuştur. Renk, bulanıklık, demir, mangan, amonyak azotu, civa, alüminyum ve yüzey aktif maddelerin zaman zaman sınır değerleri aştığı saptanmıştır. Verilerin yorumlanması ve daha anlaşılabilir şekilde ifade edilebilmesi için Kanada Su Kalitesi İndeks Modeli (KÇBK-SKİ)'den hesaplamalarda yararlanılmıştır. Tahmin edilen indeks değerlerinin, ölçülen su kalitesi parametre değerleri ile karşılaştırıldığında uyumlu sonuçlar verdiği görülmüş ve üç istasyonun da indeks değerleri “zayıf” kategorisinde bulunmuştur.

Sener et al., 2017 tarafından Aksu Nehri'nde yapılan çalışmada, Karacaören-1 Baraj Gölü'ne ulaşan akarsuda su kalite indeks modeli kullanılarak su kalitesi belirlenmiştir. Yazarlar, bu baraj gölünün Antalya ili için içme suyu teminde kullanıldığını belirterek çalışmanın önemine dikkat çekmişlerdir. Çalışma sonucunda elde edilen değerler, TS266 İçme Suyu Standardı ve Dünya Sağlık Örgütü Standartları ile kıyaslanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar yağışlı ve kurak mevsim olarak iki grupta verilmiştir. Hesaplanan kalite puanları 35,61-337,51 arasında değişmekte olup Karacaören-1 Baraj Gölü'nde genel olarak iyi kalitede su sınıfı belirlenmiştir. Buna istisna olarak ise kuzey ve güney alt-havzalarda kötü ve çok kötü kalitede su sınıfları belirlenmiştir. Su kalitesi üzerinde en etkili parametrelerin ise kimyasal oksijen ihtiyacı ile magnezyum parametreleri olduğu bildirilmiştir.

Eren & Çelebi, 2018 tarafından yapılan çalışmada, Sakarya Nehri'nin su kalitesi, beş yıl boyunca aylık olarak izlenen üç ayrı gözlem istasyonundan (Adatepe, Pamukova ve Doğançay) 60 aylık bir süre boyunca toplanan veriler kullanılarak değerlendirilmiştir. Su kalitesi sınıfları istatistiksel veri değerlendirme teknikleri

(Hazen, Weibull ve Logaritmik yöntemler) kullanılarak oluşturulmuştur. Su kalite sınıflarını belirlerken; genel koşullar (pH, sıcaklık ve iletkenlik), oksijenlendirme ( $\text{BOI}_5$ , KOI ve çözünmüş oksijen) ve besin elementleri (nitrit azotu, nitrat azotu, amonyak azotu, toplam kjeldahl azotu ve toplam fosfor) parametreleri her bir yöntemin özellikleri açısından incelenmiştir. Yüzey sularının kalitesini sınıflandırmak için istatistiksel veri değerlendirme yöntemlerinin kullanılmasının karar vericiler için önemli ve faydalı bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Maraşlıoğlu et al., 2018 çalışmasında, bir yıl süren izleme çalışması sırasında Mert Irmağı boyunca 6 istasyondan toplanan su kalitesi verileri değerlendirilmiştir. Çalışmada, Mert Irmağı'nın mevcut su kalitesini değerlendirmek için farklı bir SKİ tekniği (modifiye  $\text{SKİ}_{\min}$ ) kullanılmıştır. Su sınıflandırması açısından, 81,9 olarak belirlenen SKİ değerinin orta seviye su kalitesine karşılık geldiği belirtilmiştir. İstasyonlar arasında, su kalitesi indeks değerlerinde zayıftan mükemmele doğru bir sıralama mevcuttur. 1'inci, 2'nci, 3'üncü, 4'üncü, 5'inci ve 6'ncı istasyon için hesaplanan SKİ değerleri sırasıyla 91,6, 92,5, 74,3, 91,6 ve 75,2'dir. Bulgular, kirliliğin nehrin kentsel kısmındaki beşinci ve altıncı istasyonlarda ve kırsal kısmındaki üçüncü istasyonda baskı uyguladığını göstermektedir. Evsel ve endüstriyel atıkların beşinci ve altıncı istasyonlardaki ırmak suyunun su kalitesini etkilediği ve üçüncü istasyonun yer aldığı Kavak ilçesi civardaki tavuk çiftliklerinden çıkan atıkların nehre dökülerek su kalitesini etkilediği tespit edilmiştir. Bu çalışmaya göre, pH, elektriksel iletkenlik ve toplam askıda katılar, su kalitesi indeksini (SKİ) belirlemede en etkili parametreler olduğu saptanmıştır.

Sutadian et al., 2018 Endonezya Batı Java Eyaleti'nde yapılan çalışmada Batı Java Su Kalitesi İndeksi (The West Java Water Quality Index – WJWQI) geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla 2001-2011 yıllarında derlenen veriler kullanılmıştır. Araştırmacılar bu indeks geliştirmek için dört aşamalı bir yol izlemişlerdir. Bu aşamalar parametre seçimi, alt-indislerin elde edilerek bir aralığa indirgenmesi, parametrelere ağırlıklarının dağıtılması ve final skorunu elde etmek için alt-indislerin bir araya getirilmesi şeklindedir. Değerlendirme sonucunda fekal koliform (0,179), kimyasal oksijen ihtiyacı (0,100) ve çözünmüş oksijen (0,100) en yüksek SKİ ağırlığına sahip parametreler olarak seçilmiştir. En düşük ağırlığa sahip parametreler ise sıcaklık (0,034) ve çinko (0,038) olarak belirlenmiştir.

Tiri et al., 2018 yaptıkları çalışmada, bulanık çıkarım sistemi kullanarak bir

yüzey suyu kalite indeks modeli önermeyi amaçlamışlardır. Cezayir'in Oued El Hai Havzasında yer alan üç istasyon su örnekleri alınmış ve on fizikokimyasal parametre (pH, TÇAKM, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Na, Mg, Ca, Cl, K, ve HCO<sub>3</sub>) ile çalışılmıştır. Sonuçlar, kalsiyum ve sülfatın üç istasyonda baskın parametreler olduğunu göstermiştir. TÇAKM, SO<sub>4</sub> ve HCO<sub>3</sub> ile güçlü ve pozitif bir korelasyona sahip olduğu saptanmıştır. ANOVA testinden Ca ve K dışındaki tüm parametreler için zamansal değişim açısından anlamlı bir fark olmadığı sonucuna varılmıştır. SKİ hesaplama sonuçları, birinci ve ikinci istasyondaki yüzey örneklerinin %60'ının ve son istasyondaki su örneklerinin %100'ünün "kötü su kalitesini" temsil ettiğini göstermiştir. Yüzey suyu kalitesi B-SKİ indeksi ile değerlendirilmiş ve sonuçlar SKİ ve B-SKİ değerlerinin su kalitesi indeksi açısından benzer özelliklere sahip olduğunu göstermektedir.

Sartaş, 2019 yaptığı çalışmada, 2018–2019 yıllarında Niksar Çanakçı Alt Havzasında arazi kullanımı ve yayılı kirletici kaynakların neden olduğu kirlilik yüklerini incelemek için coğrafi bilgi sistemlerinden (CBS) yararlanılmıştır. Ortamdaki azot ve fosfor yükleri, arazi kullanım ve hayvancılık (sığır, küçükbaş hayvan ve kümes hayvanları dahil) verileri analiz edilerek hesaplanmıştır. Niksar Çanakçı Alt Havzası'ndaki hayvancılık ve arazi kullanımının yayılı kirlilik kaynakları olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada elde edilen yük değerleri CBS veri tabanına işlenerek yük haritaları oluşturulmuştur. Bu çalışma, havza bazlı ekosistem araştırmalarında CBS teknolojilerinin verimli ve ekolojik modellerle uyumlu olduğunu göstermiştir.

Tripathi & Singal, 2019 tarafından yapılan çalışma, Hindistan'ın Ganga nehrinin farklı koşullar altında su kalitesini değerlendirmek için yeni bir su kalitesi indeksinin geliştirilmesine yönelik yapılan büyük bir çalışmanın bir parçasıdır. Mevcut çalışmanın ilk adımı, parametre seçimine odaklanmaktadır. Yirmi sekiz su kalite parametresi ile çalışılmıştır. Ancak artan maliyetler, zamandan tasarruf etme isteği gibi birçok sebepten dolayı parametre azaltımına gidilmek istenmiş ve bunun için istatistiksel yöntemlerden yararlanılmıştır. Su kalite indeks geliştirmede istatistiksel tekniklerin kullanılması, geliştirilen indeksin öznelliğinin azaltılmasına yardımcı olduğu ve daha nesnel hale getirildiği ifade edilmiştir. Bu amaçla ölçülen 28 su kalite parametresi Temel Bileşen Analizi (TBA) kullanılarak 9 parametreye indirilmiştir. Bu 9 parametre; çözünmüş oksijen, pH, iletkenlik, biyolojik oksijen

ihtiyacı, toplam koliform, klorürler, magnezyum, sülfat, toplam çözünmüş katı maddedir.

Bashir et al., 2020 tarafından yapılan çalışmanın amacı, Pakistan'daki Aşağı Jhelum Kanalı'nın (LJC) su kalitesini ve sulama amaçlı kullanımının uygunluğunu değerlendirmektir. LJC su kalitesinin etkin bir şekilde yorumlanabilmesi için su kalite indeksi ile coğrafi bilgi sistemi (CBS) entegre edilerek bir yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır. LJC'nin kirlilik durumu, farklı fiziko-kimyasal ve biyolojik parametrelerle tahmin edilmiştir. Analiz sonuçlarına dayalı olarak, CBS kullanılarak seçilen su kalitesi parametrelerinin mekansal dağılım haritası hazırlanmıştır. Aşağı Jhelum kanalının her istasyonunda tematik bir parametre katmanı hazırlamak için bir enterpolasyon tekniği olan ters mesafe ağırlıklandırması uygulanmıştır. Sonuçlar E.coli hariç diğer parametrelerin yönetmelikteki izin verilen sınır değerler içinde olduğunu göstermiştir. Genel olarak, suyun sulama amacına uygun olduğu saptanmış ancak E.coli seviyesinin kanalın çoğu bölümünde yüksek olmasından dolayı arıtılmadan içme amaçlı doğrudan kullanımının uygun olmadığına değinilmiştir.

Kharake & Raut, 2020 yaptıkları çalışmada, dört su kalitesi parametresi pH, BOI<sub>5</sub>, ÇO, E.coli kullanılarak mevsimsel su kalitesi indeksini (SKİ) değerlendirmek amaçlanmıştır. Muson öncesi ve muson sonrası olmak üzere iki mevsimi kapsayan çalışmadaki su örnekleri Pravara Nehri boyunca 10 farklı istasyondan alınmış ve standart yöntemlere göre analiz edilmiştir. Su kalitesi parametreleri arasındaki ilişkiyi incelemek için Karl Pearson korelasyon matrisi oluşturulmuştur. Çalışma, Pravara Nehri'nin su kalitesi durumunu su kalitesi indeksi açısından analiz etmek için yapılmış ve hesaplanan indeks değerleri 37,5 ile 78,9 arasında bulunmuştur. SKİ değerleri, çalışma alanındaki üst akarsuyun iyi kalitede olduğunu göstermektedir, ancak şehrin girişindeki istasyonlarda SKİ'de önemli değişiklikler gözlemlenmiş ve suyun kirli (S6 & S10) ve çok kirli (S5 & S7) olduğu istasyonlar tespit edilmiştir. Gözlemler neticesinde, su kalitesinin başta evsel ve endüstriyel olmak üzere birçok insan faaliyetlerinden dolayı bozulduğu ifade edilmiştir. Suyun fizikokimyasal özelliklerini ve SKİ'yi saptamak, gelecekte karşılaşılabilecek problemleri hafifletmek için iyileştirici önlemlerin ortaya konulmasında etkin bir yöntem olduğuna değinilmiştir.

Nayak et al., 2020 tarafından, Hindistan'daki Godavari nehrinin su kalitesi

durumunun belirlenmesi amacıyla çalışmalar yürütülmüş, su kalite indeks modellerinden yararlanılmış ve bulanık mantık tabanlı su kalite indeks modeli geliştirilmiştir. Hint nehirlerinin yüksek kirlilik gücü göz önüne alındığında, yerli Vedprakash su kalitesi indeksi (V-SKİ) ve Ulusal Sanitasyon Vakfı su kalitesi indeksi (USV-SKİ)'nin su kalite durumunu tam olarak temsil edemeyeceğine değinilmiş ve bu nedenle çalışmada bulanık modellerden yararlanılmıştır. Bulanık modeller, durulaştırma için ağırlık merkezi, bisektör ve maksimumların ortalaması (MOM) yöntemleri ile üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları kullanılarak geliştirilmiştir. Durulaştırmanın bisektör yöntemini kullanan üçgen üyelik fonksiyonuna sahip bulanık modelin, durulaştırmanın ağırlık merkezi ve MOM yöntemini kullanan üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonuna kıyasla daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Bulanık mantığa dayalı su kalite indeksi değerleri USV-SKİ ve V-SKİ ile karşılaştırılmıştır. Bulanık tabanlı su kalitesi indeksi değerlerinin, USV-SKİ ve V-SKİ ile karşılaştırıldığında Hint nehirlerinin gerçek nehir suyu kalitesi durumunu daha iyi temsil ettiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, benimsenen bulanık mantık yaklaşımının tüm parametrelere eşit derecede duyarlı olması ve özellikle yüksek kirliliğe sahip nehir uzantılarında herhangi bir parametrenin değerindeki küçük değişikliği bile temsil edebilmesidir.

Nong et al., 2020 Mart 2016'dan Şubat 2019'a kadar Çin'in Güneyden Kuzeye Su Yönlendirme Projesi orta güzergahının su kalitesi durumu ve 16 parametrenin (pH, sıcaklık, çözünmüş oksijen, permanganat indeksi, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, fekal koliform, toplam fosfor, toplam azot, amonyak azotu, sülfat, florür, cıva, arsenik, selenyum, bakır ve çinko) uzay-zamansal varyasyonları bu çalışmada incelenmiş ve analiz edilmiştir. Mevsimsel ve mekansal modellerden su kalitesini kapsamlı bir şekilde değerlendirmek için SKİ yöntemi kullanılmış ve temel su kalitesi parametreleri seçilerek SKİ<sub>min</sub> (toplam fosfor, sıcaklık, fekal koliform, cıva ve çözünmüş oksijenden oluşan) değeri hesaplanmıştır. 27 su kalitesi izleme istasyonunda aylık olarak örnekler alınmıştır. Sonuçlar su kalite durumunun, izleme süresi boyunca, 90,39'luk genel ortalama SKİ değeri ve 87,67 ila 91,82 arasında değişen on iki mevsimsel ortalama SKİ değeri ile sürekli olarak "mükemmel" bir seviyede tutulduğunu göstermiştir. Seçilen beş temel parametreyi ve bu parametrelerin ağırlıklarını kullanarak önerilen SKİ<sub>min</sub> modeli, belirleme katsayısı ( $R^2$ ), hatanın ortalama karekökü ve yüzde hata ile su kalitesi değerlendirmesinde

mükemmel performans gösterdiği belirlenmiştir. Sırasıyla %0,901, %2,21, %1,93 değerleri, önerilen SKİ<sub>min</sub> modelinin su kalitesini değerlendirmek ve yönetmek için yararlı ve verimli bir araç olduğunu göstermiştir.

Quiñones-Huatangari et al., 2020'in yaptıkları çalışmada, Utcubamaba Nehri için su kalitesini belirlemek üzere bulanık mantık yaklaşım modeli kullanılarak "Yaygın Su Kalitesi İndeksi" (DSKİ) adı verilen bir indeks geliştirmişlerdir. Uzman görüşleri ve uluslararası çalışmalara dayanarak, altı su kalitesi parametresi (çözünmüş oksijen, bulanıklık, pH, BOI<sub>5</sub>, nitrat ve fekal koliform) DSKİ'nin göstergeleri olarak kabul edilmiştir. Yeni indeks, Utcubamba Nehri ve kolları üzerindeki on altı örnekleme noktasında gözlemlenen su kalitesi verilerine dayalı olarak geliştirilmiştir. Çalışmada Ulusal Sanitasyon Vakfı su kalite indeks (USV SKİ) modeli de kullanılarak su kalite indeks değerleri hesaplanmıştır. DSKİ, USV SKİ ile karşılaştırılmış R<sup>2</sup> korelasyon katsayısı hesaplanmış 0,81 olarak bulunmuştur. Geliştirilen indeks, su kalitesinin durumunu tespit etmeyi ve nehirdeki mekansal ve zamansal değişiklikleri araştırmayı mümkün kılmaktadır. Bu nedenle, bulanık mantık kavramları bu tür problemleri çözmek için etkili bir araç olduğu sonucuna varılmıştır.

Ustaoğlu et al., 2020 Turnasuyu Havzası su kalitesine evsel ve tarımsal kirlenmenin yarattığı sonuçları değerlendirilmiştir. Turnasuyu Çayı'nın membaı, orta ve mansap havzasını temsil etmek üzere seçilen üç örnekleme noktasında yüzey suyundan bir yıl boyunca (Şubat 2017-Ocak 2018) numune alımı gerçekleştirilmiştir. Su kalitesi parametrelerinin genel koşulları (sıcaklık, pH, iletkenlik, toplam çözünmüş katılar, askıda katılar, bulanıklık, tuzluluk, oksidasyon azaltma potansiyeli, alkalilik, toplam sertlik), oksijenasyon parametreleri (çözünmüş oksijen, % oksijen doygunluk değeri, biyokimyasal oksijen ihtiyacı), besin elementleri (amonyum azotu, nitrit azotu, nitrat azotu, toplam fosfat, toplam fosfor), eser elementler, inorganik kirlilik parametreleri ve biyolojik parametrelerden klorofil içeriği incelenmiştir. Sonuçlara Temel Bileşen Analizi, Pearson Korelasyon İndeksi ve Kümeleme Analizi gibi çoklu istatistiksel yöntemler uygulanmıştır. Derenin su kalitesini belirlemek için Su Kalitesi İndeksi (SKİ) ve halk sağlığı riski açısından eser elementlerin değerlendirilmesi için tehlike katsayısı ve tehlike indeksi kullanılmıştır. Turnasuyu Çayı'nın su kalitesinin çok iyi olduğu ve burada bulunan eser elementlerin genel halk sağlığı için tehlikeli düzeyde olmadığı tespit edilmiştir.

Titiz, 2020 tarafından Edirne’de yapılan çalışmada, kırk beş örnekleme noktasından yüzey ve yeraltı suyu örnekleri alınarak kış ve yaz mevsimlerinde çeşitli parametreler (pH, çözülmüş oksijen, % oksijen doygunluk değeri, sıcaklık, tuzluluk, iletkenlik, bulanıklık, toplam çözülmüş katı, askıda katı madde, nitrat azotu, nitrit azotu, fosfat ve fosfor pentaoksit) ölçülerek su kalitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan su kalitesi indeksi, ölçülen parametre değerinin o parametre için TS266 İçme Suyu Standardı veya Dünya Sağlık Örgütü’nce belirlenen üst limit derişimine olan oranının, parametrenin önem katsayısıyla çarpılmasıyla hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, bölgede yer alan köylerin içme suyu kaynaklarında azotlu ve fosforlu bileşiklerin derişimlerinin yüksek olarak saptandığı, buna rağmen hesaplanan su kalitesi indeksi değerinin içilebilirlik seviyesini aşmadığı belirtilmiştir.

Dimri et al., 2021 çalışmada Hindistan’ın Himalaya Bölgesi’nde yer alan Ganga nehrinin küresel iklim değışikliğine ve antropojenik faaliyetlere karşı çok hassas olduğunu ve bu sebepten su kalitesini korumak için uygun ve düzenli bir izleme sistemi gerekliliğı vurgulanmıştır. Bu amaçtan yola çıkarak çalışma, 2016 yılında muson öncesi (Mayıs-Haziran), muson (Ağustos-Eylül) ve muson sonrası (Aralık) olmak üzere üç mevsim boyunca yirmi dört örnekleme istasyonundan veri toplanmıştır. Ağırlıklı ortalama su kalite indeks modeli kullanılarak su kalite indeks değerleri hesaplanmıştır. Temel Bileşen Analizi, Pearson Korelasyon İndeksi, Küme Analizi ve Hiyerarşik Küme Analizi gibi çok değışkenli istatistiksel tekniklerden Ganga Nehri’nin su kimyasını anlamak için yararlanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre nehirde izlenen fiziksel ve kimyasal parametrelerin çoğunun izin verilen sınır değerler içinde olduğu belirlenmiş ancak toplam koliform değerinin nehrin bazı bölgelerinde yüksek olduğu saptanmıştır. Toplam koliform değeri (EMS/100 ml) muson öncesi (ortalama  $174,62 \pm 185,71$ ), muson (ortalama  $176,18 \pm 192,44$ ) ve muson sonrası (ortalama  $37,76 \pm 39,26$ ) şeklindedir. Temel Bileşen Analizinden ve Hiyerarşik Küme Analizinden elde edilen sonuçlar, jeojenik ve antropojenik girdilerin nehir suyunun hidrokimyası üzerindeki etkisini öngörmüştür. Pearson Korelasyon İndeksinden, su kalitesi değışkenlerinin önemli ölçüde ilişkili olduğu görülmüştür. Temel Bileşen Analizi sonucunda elde edilen varimax (döndürme yöntemi) faktörleri, nehir suyu kalitesini başlıca jeolojik ayrışma, noktasal ve noktasal olmayan kirlilik kaynakları, inorganik kirlilik ve antropojenik faaliyetler

nedenli kirlilikten etkilendiğini göstermiştir. Su Kalitesi İndeksi, Ganga Nehri su kalitesinin “mükemmel” ile “iyi” arasında olduğunu göstermiştir. Çalışmanın bulguları, Ganga Nehri su kalitesinin, evsel atık su, endüstriyel atık su, tarımsal faaliyetler, arıtılmamış kanalizasyon sularının deşarjı ve dini turizm gibi çeşitli antropojenik faaliyetlerden etkilendiğini belirlemişlerdir.

Haksevenler & Ayaz, 2021 tarafından yapılan çalışmada Alaşehir Çayı Alt Havzası çalışma alanı seçilmiş ve noktasal-yayılı kaynaklardan gelen kirliliğin havzadaki yüzey suyu kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Gübre kullanımını, hayvancılık faaliyetlerini, arazi kullanımını, katı atık sızıntı suyunu, fosseptik kullanımını ve atmosferik taşınmayı yaygın kaynaklı kirleticiler olarak değerlendirilirken; alıcı ortama gelen kentsel ve endüstriyel atıksular noktasal kaynaklı kirleticiler olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, kaynaklardan gelen azot ve fosfor yüklerini bulmak için basit ve kullanımı kolay bir yaklaşım metodu kullanılmıştır. 2015–2016’da, bu kirletici kaynakların yüzey suyunun kalitesi üzerindeki etkisini belirlemek için dört dönem boyunca izleme yapılmıştır. Bulgular, yayılı kaynaklı faaliyetlerin, havzanın toplam TN ve TP yükünün önemli bir bölümünü oluşturduğunu, TN’nin %79’unun ve TP’nin %61’inin yayılı kaynaklardan geldiğini tespit edilmiştir. Gübre kullanımı (toplam yayılı TN’nin %37’sini ve TP’nin %48’ini oluşturur) ve hayvancılık faaliyetleri (toplam yayılı TN’nin %34’ünü ve TP’nin %41’ini oluşturur) yayılı kirliliğin en yaygın kaynaklarıdır. Noktasal kirlenmenin belirgin şekilde (toplam noktasal TN’nin %93’ü, TP’nin %95’i ve KOİ’nin %83’ü) kentsel atıksu deşarjlarından kaynaklı olduğu saptanmıştır. Havzanın yüzey suyu kalitesi tipik olarak ciddi şekilde kirlenmiş (Sınıf IV) ve kirli (Sınıf III) olarak sınıflandırılır. Sonuçlar, akarsuyun su kalitesinin noktasal ve yayılı kirletici kaynakların bulunduğu alanlarda belirgin ölçüde azaldığını göstermiştir.

Howladar et al., 2021 yapılan çalışmada Bangladeş’teki Surma nehrinin su kalitesinin mevcut durumunu çok değişkenli istatistiksel yöntemler ve Su Kalitesi İndeks (SKİ) modeli uygulayarak tahmin etmek amaçlanmıştır. Nehrin 25 farklı noktasından su örnekleri alınarak 14 su kalitesi parametresini (pH, iletkenlik, bulanıklık, çözünmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, kimyasal oksijen ihtiyacı, alkalilik, toplam katı madde, toplam askıda katı madde, toplam çözünmüş katı madde, sertlik, demir, klorür ve karbondioksit) değerlendirmek için APHA

standart metotlar esas alınarak örneklerin laboratuvar analizleri yapılmıştır. Sonuçlar, pH, çözünmüş oksijen, demir, toplam çözünmüş katı madde ve toplam katı madde gibi bazı bileşenlerin ortalama değerlerinin standart limit değerler içinde bulunduğunu gösterirken, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, kimyasal oksijen ihtiyacı, toplam askıda katı madde, karbondioksit ve bulanıklık değerlerinin ise standart limit değerlerin üzerinde olduğu saptanmıştır. İstatistiksel yöntemlerden faktör analizi sonuçları, toplam varyansın %78,8'inin beş faktör dikkate alınarak açıklanabileceğini ortaya koymuştur. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı, kimyasal oksijen ihtiyacı, toplam askıda katı madde, çözünmüş oksijen, pH ve bulanıklığa karşı kaydedilen en yüksek faktör yükleme değerlerinin önemli bir çevresel kirletici olduğu ifade edilmiştir. Ağırlıklı aritmetik ortalama su kalite indeks modeli kullanılarak su kalitesi indeks (SKİ) değerleri hesaplanmış ve su örneklerinin çoğunun düşük kalitede olduğunu belirlemiş, özellikle nehrin orta kısmı çok kirli olduğu vurgusu yapılmıştır. Çalışma sonuçlarında analiz ve gözlemlerle, nehir suyu kalitesinin öncelikle endüstriyel atıklar, kanalizasyon, yüzey akışı, organik bileşikler ve tarımsal faaliyetlerden etkilendiğine yer verilmiştir.

Küçükönder et al., 2022 bu çalışmada, 2018 yılında, mevsimsel olarak Nisan, Ağustos ve Kasım aylarında Kahramanmaraş Kılavuzlu Baraj Gölü'ndeki 11 örnekleme istasyonundan su örnekleri alındı. Numuneler sıcaklık, pH, nitrat, amonyum, toplam organik karbon, toplam inorganik karbon ve sülfat içeriği açısından incelenmiş ve su kalitesi değerleri hesaplanmıştır. Kılavuzlu Baraj Gölü'ndeki su kalitesi parametrelerinin mekansal varyasyonunu haritalamak için ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon (IDW) olarak adlandırılan bir teknik kullanıldı. Yüzey Suyu Kalitesi Yönetmeliğine göre, rezervuarın sıcaklık, pH, nitrat ve sülfat değerleri için sınıf I ve amonyum değerleri için Sınıf IV su kalite sınıfına dahil olduğu tespit edilmiştir. Kanada Su Kalitesi İndeksi'ne göre, amonyum ve toplam organik karbon değerleri referans değerlerin üzerinde olduğu için kötü sınıf olarak derecelendirilmiştir. Bulgular, Kılavuzlu Baraj Gölü'nde su ürünleri yetiştiriciliğini ve tarımsal sulama amaçlı kullanımını sürdürmek için sucul ekolojiyi korumaya yönelik eylemlerin gerekli olduğunu göstermiştir.

Oladipo et al., 2021 çalışmada, Nijerya'nın İkare eyaletindeki su kalitesi değerlendirilirken iki istatistiksel araç, bulanık mantık çıkarımı ve su kalitesi indeksi (SKİ) analitik yöntemleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca, çapraz tablo analizi ve Python

programlama dili ile bulanık mantık ve SKİ yöntemlerinin güvenilirliği doğrulanmıştır. Sonuç olarak, yöntemlerin kirlilik dağılım seviyelerindeki eşitsizliği göstermek için ArcGIS ortamında bir sınıflandırma haritası oluşturulmuştur. SKİ ve bulanık mantık analizleri aracılığıyla, 20 örnekleme noktasından BOI<sub>5</sub>'in yüzeysel su kalitesi üzerinde sırasıyla %65 ve %37'lik bir etki gösterdiğini gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, fekal koliform ile bulanık mantık ve SKİ, sırasıyla mutlak (%100) ve sıfır (%0) etki göstermiştir. ArcGIS aracılığıyla, suların %8,3'ü bulanık mantık kullanılarak içme için “orta” derece olarak sınıflandırılırken, SKİ tüm çalışma alanının sularını “kötü” derece olarak sınıflandırmıştır. Bu nedenle, karşılaştırma yoluyla, bulanık mantık çıkarımının su kalite indeksi yöntemine göre üstün olduğu sonucuna varılmıştır.

Wu et al., 2021 tarafından yapılan bu çalışma, Çin'deki Chaohu Gölü Havzası'ndaki (LCB) nehirlerdeki su kalitesi durumunu değerlendirmeyi ve su kalitesini etkileyen önemli parametreleri keşfetmeyi amaçlamıştır. 2018 yılı Nisan-Aralık ayları arasında 83 istasyondan 4 mevsimsel dönemde örnekleme yapılmıştır. Bulanıklık, çözünmüş oksijen, amonyum azotu, nitrat azotu ve permanganat indeksi gibi on beş fizikokimyasal parametreye bakılmıştır. Yaygın olarak kullanılan parametrelere dayalı bir su kalitesi indeksi (SKİ) hesaplaması yapılmış ve genel olarak, su kalitesi durumu “orta” derece olarak sınıflandırılmıştır (ortalama değer 69,1). Çalışmada, beş önemli parametreden (bulanıklık, çözünmüş oksijen, amonyum azotu, nitrat azotu ve permanganat indeksi) oluşan bir minimum su kalitesi indeksi (SKİ<sub>min</sub>) hesaplanmış, on beş parametrenin tamamına dayalı olarak hesaplanan SKİ ile önemli ölçüde farkı olmadığı belirlenmiştir.

Yotova et al., 2021 tarafından yapılan çalışmada, Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi (KÇBK) tarafından geliştirilen su kalitesi indeksini (SKİ) ve Kohonen'in kendi kendini organize eden haritalarını birleştiren yeni bir su kalitesi değerlendirme yaklaşımı (SOM) kullanılmıştır. Çalışma, Bulgaristan, Mesta Nehri havzasında bulunan on örnekleme istasyonundan toplanan su kalitesi izleme verileri (2008–2018) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İlk adımda, her bir örnekleme istasyonunun yıllık su kalitesi kategorilerinin değerlendirmesi, Bulgaristan mevzuatına göre KÇBK-SKİ hesaplanmasıyla tahmin edilmiştir. Bir sonraki adımda, KÇBK-SKİ hesaplaması için kullanılan faktörlerle (kapsam, frekans, genişlik) karakterize edilen tüm yıllık su kalitesi kategorilerine (n = 105) SOM analizi uygulanmıştır. SOM

hesaplamalarında SKİ faktörlerinin uygulanmasının sonuçları, tüm nehir havzasında belirli KÇBK-SKİ modelleriyle benzer yıllık su kalitesi kategorileri gösterdiği gözlemlenmiştir.

Bushero et al., 2022 yaptıkları araştırma, su kalitesi indeksini (KÇBK-SKİ) ve Coğrafi Bilgi Sistemini (CBS) entegre ederek Etiyopya'daki Küçük Akaki Nehri'ndeki su kalitesi durumunu değerlendirmek ve kirlilik noktalarını belirlemek ve haritalamak amacıyla yürütülmüştür. Buna göre, yirmi iki izleme istasyonundan su kalitesi örnekleri toplanmıştır. APHA standart yöntemleri kullanılarak su numuneleri toplanmış ve fiziko-kimyasal ve ağır metal bileşenleri açısından analiz edilmiştir. Analiz edilen fiziko-kimyasal bileşenlerinin çoğu, ülkenin ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) standart kılavuz değerini aşmıştır. Nehrin orta (S3-S10) bölümlerinin çoğu, mansap (S11-S14) ve membaı kesimlerine göre çok daha kirli olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonuçları, çoğu su kalitesi parametresinin ortam yüzey suyu kalitesi standartlarının ötesinde olduğunu ve KÇBK-SKİ'nin tüm izleme istasyonlarını düşük su kalitesi durumu altında kategorize ettiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, kirliliğin mekansal dağılımı, nehrin orta kesiminde yoğun bir bozulma gösterdiği vurgulanmıştır.

Islam Khan et al., 2022 bu çalışma, Temel Bileşen Analiz tekniğini kullanarak bir su kalitesi tahmin modeli sunmaktadır. Öncelikle, ağırlıklı aritmetik indeks yöntemi kullanılarak su kalitesi indeksi (SKİ) hesaplanmıştır. İkinci olarak, veri setine Temel Bileşen Analizi (TBA) uygulanmıştır ve en baskın SKİ parametreleri çıkarılmıştır. Üçüncüsü, SKİ'yi tahmin etmek için TBA çıktısında farklı regresyon algoritmaları kullanılmıştır. Son olarak, su kalitesi durumunu sınıflandırmak için Gradient Boosting Classifier kullanılmıştır. Önerilen sistem, Gulshan Gölü ile ilgili bir veri seti üzerinde deneysel olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, TBA yöntemi için %95 tahmin doğruluğunu ve Gradient Boosting Classifier yöntemi için %100 sınıflandırma doğruluğunu göstermektedir, son teknoloji modellerle karşılaştırıldığında güvenilir performans gösterdiği vurgusu yapılmıştır.

Marselina et al., 2022 bu araştırma, Endonezya Batı Java Eyaleti'ndeki Citarum Nehri'nin su kalitesini belirlemek için hangi SKİ değerlendirme yönteminin en uygun olduğunu tespit etmek amacıyla yürütülmüştür. Dört izleme istasyonundan alınan su kalite verilerinden elde edilen analiz sonuçları için su kalite indeks değerleri; USV-SKİ, KÇBK-SKİ ve OSKİ değerlendirme yöntemleri kullanılarak

hesaplanmıştır. Dokuz yıllık izleme verileri, yağışlı ve kurak aylara, yağışlı ve kurak yıllara, izleme istasyonuna ve yıla göre gruplandırılmıştır. USV-SKİ değerlendirme yöntemini kullanan Citarum Nehri, kurak aylarda 38,212 ve 60,903, yağışlı aylarda 49,089 ve 62,348, kurak yıllarda 42,935 ve 65,696 ve ıslak yıllarda 39,002 ve 58,898'dir. Veriler, her izleme istasyonundan 41,458 ile 61,206 arasında ve her izleme yılına ait veriler için 35,920 ile 58,713 arasında değişmektedir. KÇBK-SKİ değerlendirme yöntemi, Citarum Nehri'nin "Orta", "Marjinal" ve "Kötü" su kalitesine sahip olduğunu ve SKİ'yi kurak aylarda 12,683 ile 31,503, yağışlı aylarda 21,231 ve 33,127, kurak yıllarda 12,683 ve 31,503 arasında değiştiğini, yağışlı yıllarda 12,134 ve 28,748, her izleme istasyonundan gelen veriler için 13,621 ve 30,569 ve her izleme yılına ait veriler için 13,219 ve 68,808 değerlerinde bulunmuştur. Oregon SKİ değerlendirme yöntemi, Citarum Nehri'ne kurak aylarda 11,528 ve 18,827, yağışlı aylarda 13,898 ve 24,563, kurak yıllarda 11,528 ve 25,782, yağışlı yıllarda 11,528 ve 15,997 ve her izleme istasyonu için 11,528 ve 18,842 ve her izleme yılına ait veriler için 11,523 ve 16,528'dir. Bu sonuçlara ve tüm yöntemlerin avantaj ve dezavantajlarına dayanarak, USV-SKİ değerlendirme yönteminin Citarum Nehri'nin su kalitesini belirlemek için en uygun yöntem olduğu kabul edilmiştir.

Mokarram et al., 2022 yaptıkları çalışmada, İran'ın güneybatısındaki en büyük nehirlerden biri olan Kor Nehri'nin mevcut kirlilik durumunun haritasını çıkarmak için çok çeşitli su kalitesi parametrelerinin kapsamlı bir araştırması yapılmıştır. Bu çalışmada, yirmi beş örnekleme istasyonundan numune alınmış ve bu örneklerde yirmi bir su kalite parametre değerine bakılmıştır. Ölçülen parametreler ile Kriging yöntemi kullanılarak her bir parametrenin enterpolasyon haritaları belirlenmiş ve Su Kalitesi İndeksi yöntemi kullanılarak su kalitesi hesaplanmıştır. Sonuçlarda, SKİ değerlerinin 28 ile 73 arasında değişen değerlerde olduğu saptanmıştır. Çalışmanın bir diğer adımı Temel bileşen analizi (TBA) yapılmış, sonuçlar su kalitesine etki eden yirmi bir parametre içerisinde  $BOI_5$ ,  $KOI$ ,  $NO_3$  ve koliformun en önemli parametreler olduğunu göstermiştir. Doğrusal regresyon sonuçları, indeks değerlerini belirlemek için  $R^2$ 'nin 0,87'den büyük olduğu en iyi parametrelerin, sırasıyla  $BOI$  ve  $Cr$ ,  $PO_4^{-3}$ ,  $Hg$  ve  $Zn$  olduğunu göstermiştir.

## 5. MATERYAL VE METOT

Bu tez çalışması “Nehir havzalarında su kalite derecelendirmesi yapılabilmesi için havza karakterizasyonu belirleyici bir unsurdur” hipotezinden yola çıkılarak yürütülmüştür. Çalışmanın amacı ise, Türkiye’nin önemli nehir havzaları olan Kızılırmak ve Yeşilirmak Havzasının su kaynaklarının doğal ve yapay etkiler sonucunda değişimlerinin ne seviyede olduğunu belirlemektir. Her iki nehir havzası üzerindeki baskı unsurlarını ve nehrin taşıyabileceği izin verilen yük miktarlarını belirlemek, yıl boyunca su kalitesindeki değişimlerin ana etkenlerini belirleyerek su kalite sınıfları ile ilişkilendirmek, uzman olmayan kişilerin ve yerel halkın anlayabileceği düzeyde su kalitesindeki değişimin seviyesini belirtmek için farklı su kalite indeks metodları uygulanmasıdır. Geniş bir çalışma alanı ve çok sayıda izleme parametresinin değerlendirilmesi uzun soluklu çalışmalarda yük teşkil etmektedir. Bu nedenle her iki nehir havzası için kirliliği temsil eden karakteristik parametreler belirlenerek uzun vadede bu parametrelerin izlenmesi önerilecektir. Bu karakteristik parametrelerle yeni bir indeks modeli geliştirilerek havzalarındaki su kalite indeks değerleri belirlenip, uygulanan diğer indeks metodları ile kıyaslanarak uygulanabilirliği istatistiksel olarak değerlendirilmektedir.

Tüm bu çalışmalar nehir havzalarının mevcut durumunu ve karakteristiğini ortaya koyarak yararlı kullanımları için ileriki dönemlerde yapılacak çalışmalara kaynak oluşturacaktır. Bu tez çalışmasının çıktıları ve üretilen verileri, bu alanda çalışmalar yürüten kurum ve kuruluşlara havza planlama ve kaynak yönetimi konusunda veri altyapısı olarak fayda sağlayacaktır.

Çalışmada Kızılırmak ve Yeşilirmak nehir havzaları izleme bölgesi olarak seçilmiştir. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ)’nden her iki havza sınırlarında yer alan 44 istasyona ait su kalite gözlem istasyonları erişim sağlanabilen en güncel izleme verileri 2014 ve 2015 yılları için temin edilmiştir. DSİ’den elde edilen veri setinde otuzdan fazla parametrenin ölçüm sonuçları olmasına rağmen, bu parametrelerin hepsinin ölçümü düzenli bir şekilde yapılmamıştır. Bu nedenle çalışmada faydalanılması planlanan su kalite parametreleri; pH, sıcaklık (T), bulanıklık (NTU), renk, iletkenlik (EI), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ<sub>5</sub>), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), çözünmüş oksijen (Ç.O), yüzde doymunluk (% doymunluk), askıda katı madde (AKM), nitrat azotu (NO<sub>3</sub>-N), amonyum azotu (NH<sub>4</sub>-N), toplam kjeldahl azotu (TKN), toplam azot (TN), toplam fosfor (TP), orto-fosfat

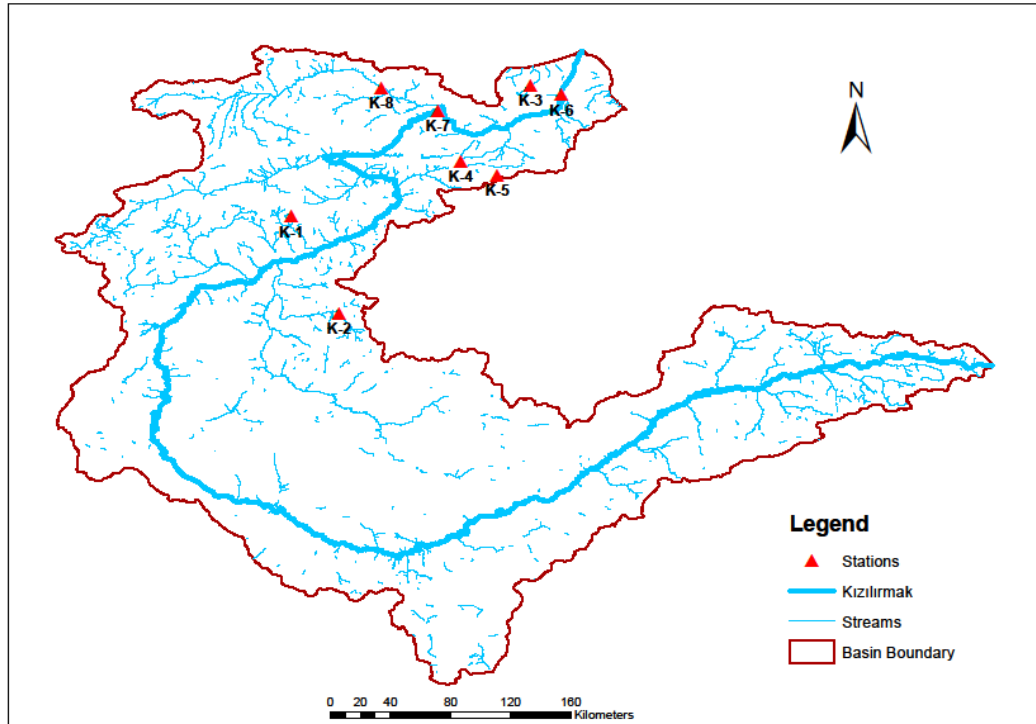
( $\text{oPO}_4^{3-}$ ), klorür ( $\text{Cl}^-$ ), selenyum (Se), demir (Fe), mangan (Mn), bakır (Cu), kurşun (Pb), nikel (Ni), alüminyum (Al), çinko (Zn) ve krom (Cr) olmak üzere toplam 26 parametredir.

### 5.1. Çalışma Alanı

Kızılırmak nehir havzasında Aşağı Kızılırmak Alt Havzası çalışma sahasını temsil etmektedir. Nehir havzası sınırlarında yer alan 8 tane su kalite izleme noktası seçilmiştir. İstasyonlar ile ilgili bilgiler aşağıda Tablo 5.1 ve Şekil 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. Aşağı Kızılırmak Alt Havzası İstasyon Bilgileri

| İstasyon No | DSİ İstasyon Kodu | DSİ İstasyon Adı                                  |
|-------------|-------------------|---------------------------------------------------|
| K-1         | 15-05-00-024      | Kuzguncuk Deresi Çorum Bayat Kunduzlu Göleti Aksı |
| K-2         | 15-05-00-513      | Budaközü Çayı Sungurlu Barajı Aks Yeri            |
| K-3         | 15-07-00-501      | Taşkelik Çayı-Alaçam Taşkelik Göleti Aks Yeri     |
| K-4         | 15-07-00-514      | Köyiçi Deresi Vezirköprü Soğucak Göleti           |
| K-5         | 15-07-00-481      | Bakırçay Barajı Aks Yeri                          |
| K-6         | 15-07-02-155      | Kızılırmak-Derbent Barajı Çıkışı                  |
| K-7         | 15-07-02-517      | Boyabat Baraj Çıkışı Köprü                        |
| K-8         | 15-07-00-101      | Gökırmak-Boyabat Girişi                           |



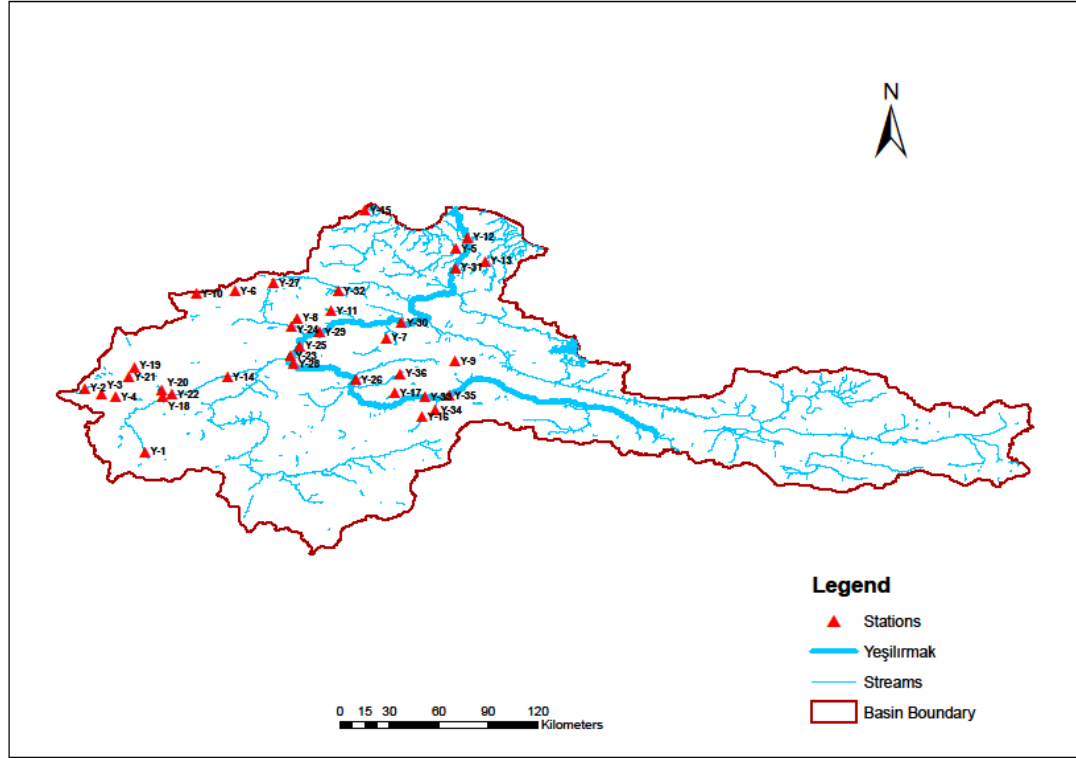
Şekil 5.1. Kızılırmak Havzası İstasyon Haritalaması

Yeşilırmak nehir havzasının tüm alt havzaları çalışma sahasını temsil etmektedir. Nehir havzası sınırlarında yer alan 36 tane su kalite izleme noktası seçilmiştir. İstasyonlar ile ilgili bilgiler aşağıda Tablo 5.2’de ve Şekil 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Yeşilırmak Nehir Havzası İstasyon Bilgileri

| <b>İstasyon No</b> | <b>DSİ İstasyon Kodu</b> | <b>DSİ İstasyon Adı</b>                             |
|--------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|
| Y-1                | 14-05-00-065             | Büyüköz Çayı-Koçhisar Barajı Aksı                   |
| Y-2                | 14-05-00-023             | Ahılyas Deresi-Yenihayat Baraj Girişi               |
| Y-3                | 14-05-00-087             | Koparan Deresi-Koparan Regülatörü                   |
| Y-4                | 14-05-02-066             | Hatap Çayı-Hatap Barajı Çıkışı                      |
| Y-5                | 14-07-02-010             | Abdal Irmağı-Çakmak Baraj Çıkışı                    |
| Y-6                | 14-07-00-116             | Yeni Merzifon Barajı Aks Yeri                       |
| Y-7                | 14-07-00-034             | Tatlıpınar Deresi-Taşova Tatlıpınar Göleti Aks Yeri |
| Y-8                | 14-07-00-095             | Kanlı Dere-Amasya Merkez Degirmendere Barajı Aksı   |
| Y-9                | 14-07-00-103             | Çalkoru Deresi-Musullu Barajı Aks Yeri              |
| Y-10               | 14-07-00-105             | Camiboğazı Deresi Gümüşhacıköy Göleti               |
| Y-11               | 14-07-00-106             | Kocaalan Deresi Amasya Merkez Akdağ Göleti          |
| Y-12               | 14-07-00-027             | Yeşilırmak-Çarsamba Çıkışı                          |
| Y-13               | 14-07-02-068             | Degirmendere-Salıpazarı Barajı Çıkışı               |
| Y-14               | 14-07-00-037             | Çorum Çayı-Seyhoğlu                                 |
| Y-15               | 14-07-00-063             | Engiz Deresi-19 Mayıs Barajı Membayı                |
| Y-16               | 14-07-00-090             | Dekseci Deresi-Gökçe Mevki                          |
| Y-17               | 14-07-00-118             | Değirmen Deresi-Tokat Merkez Güryıldız Göleti Aksı  |
| Y-18               | 14-05-00-040             | Alacasu-Cemilbey Köprüsü                            |
| Y-19               | 14-05-00-046             | Çorum Deresi-Ahılyas Deresi Öncesi                  |
| Y-20               | 14-05-00-047             | Çorum Deresi-Ahılyas Deresi Sonrası                 |
| Y-21               | 14-05-00-048             | Ahılyas Deresi-Çorum Deresi Öncesi                  |
| Y-22               | 14-05-00-049             | Çorum Deresi-Alacasu Sonrası                        |
| Y-23               | 14-07-00-075             | Çekerek Irmağı-Yeşilırmak Öncesi                    |
| Y-24               | 14-07-00-033             | Tersakan Çayı-Boğazköy                              |
| Y-25               | 14-07-00-076             | Yeşilırmak-Amasya Girişi Çağlayan Köprüsü           |
| Y-26               | 14-07-00-003             | Yeşilırmak-Sütlüce                                  |
| Y-27               | 14-07-00-004             | Tersakan Çayı-Havza Çıkışı                          |
| Y-28               | 14-07-00-019             | Yeşilırmak-Çayköy Regülatörü                        |
| Y-29               | 14-07-00-026             | Yeşilırmak-Maya Fabrikası Sonrası                   |
| Y-30               | 14-07-00-117             | Yeşilırmak Taşova Destek Çayı Sonrası               |
| Y-31               | 14-07-02-008             | Yeşilırmak-Suat Uğurlu Baraj Çıkışı                 |

|      |              |                                                |
|------|--------------|------------------------------------------------|
| Y-32 | 14-07-00-030 | Tersakan Çayı-Ladık Gölü Regülatör Çıkışı      |
| Y-33 | 14-07-00-050 | Yeşilırmak-Tokat Çıkışı                        |
| Y-34 | 14-07-00-051 | Behzat Deresi-Yeşilırmak Öncesi (Tokat Girişi) |
| Y-35 | 14-07-00-067 | Yeşilırmak-Gümenek Regülatörü (Tokat Girişi)   |
| Y-36 | 14-07-00-070 | Gülut Çayı-Yenisu Baraj Aksı                   |



Şekil 5.2. Yeşilırmak Havzası İstasyon Haritalaması

Kızılırmak Havzasında yer alan tüm izleme noktaları Aşağı Kızılırmak Alt Havzasında yer alırken, Yeşilırmak Havzasının tüm alt havzalarında izleme noktaları mevcuttur. Ancak istasyonların çoğu Yukarı Yeşilırmak Alt Havzası, Çekerek Alt Havzası, Tersakan Alt Havzası ve Aşağı Yeşilırmak Alt Havzası’da bulunmaktadır. Her iki havza için de Orta Karadeniz Bölgesi sınırlarında kalan alanlar belirlenerek istasyon seçimi yapılmıştır. Orta Karadeniz Bölgesi, Türkiye’nin iki önemli Nehir Havzasını sınırlarından Karadeniz’e ulaştırmaktadır. Bu bölgede yaşanabilecek doğal ve beşeri faktörler su kaynaklarını tehdit ederek, niteliğini ve niceliğini etkilemektedir. Bölge sınırlarında kalan iki havza için durum tespiti yapmak ve su karakteristiğini ortaya koymak amacıyla çalışmalar yürütülmüştür.

## 5.2. Günlük Maksimum Toplam Yük (GMTY) Yaklaşım Modeli

Kızılırmak ve Yeşilirmak Havzaları Türkiye'nin önemli havzalarından olmalarının yanı sıra nüfus yoğunluğunun artması, her geçen gün artan sanayi ve tarımsal faaliyetlerin ve iklimsel değişkenlerin havzalardaki su miktar ve kalitelerine etkileri sebebiyle yaşanabilecek su kaynaklı problemlerin önüne geçmek, çözümler üretmek, havzaların taşıyabileceği maksimum kirlilik yükünü tahmin etmek amacıyla çalışmalar yürütülmüştür.

Havzalardaki kirlilik yükleri hesaplanırken farklı kirletici parametreler değerlendirilebilmektedir. Bu çalışmada noktasal ve yayılı kaynaklar; toplam azot (TN), toplam fosfor (TP) yükü cinsinden değerlendirilmiştir.

### 5.2.1. Noktasal Kaynaklı Yük Hesabı

Noktasal kaynaklardan gelen kirletici yükü hesaplanırken, alıcı ortama deşarj edilen kentsel atıksuların yanı sıra endüstriyel atıksular da (arıtılmış veya arıtılmamış) dikkate alınmıştır. Kentsel atıksulardan kaynaklanan kirliliğin belirlenmesinde “kirlilik yükleri” ve “atıksu debileri” için Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'nde yer alan Tablo 2.1 değerlerinden yararlanılmıştır (Mülga) (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010).

Havzadaki tüm yerleşim yerlerinde kanalizasyon şebekesinin var olduğu kabul edilmiştir. Mevcut kentsel atıksu arıtma tesislerindeki kirlilik giderme verimleri toplam azot için %25, toplam fosfor için %10 olarak alınmıştır. Eğer mevcut KAAT'lerde azot ve fosfor giderimi varsa kirlilik giderme verimleri toplam azot için %70, toplam fosfor için %70 olarak hesaplanmıştır. Eğer yerleşim yerinde fosseptik kullanılıyorsa, bunun sızdırmalı olduğu kabul edilerek kirlilik giderim verimleri; toplam azot için %20 ve toplam fosfor için %30 olarak belirlenmiştir. Bunların dışında havzada kentsel alan içerisindeki sanayi tesislerinden kaynaklanan yüklerin hesaplamaya dahil edilmesi için, kentsel kirlilik yükleri %25 oranında artırılmıştır.

Endüstriyel kirliliğin belirlenmesinde havzada önemli kirletici etkisi olan ve atıksuyunu alıcı ortama deşarj eden işletmeler dikkate alınmıştır. Kirletici konsantrasyonları belirlenirken işletmelerin deşarj izinlerinin olup olmadığı dikkate alınmıştır. Deşarj izni olan tesislerin kirletici konsantrasyonları için Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde yer alan tesislerden işletmenin ilgili olduğu tablodaki değerler kullanılmıştır. Deşarj izni olmayan tesisler için yönetmelikteki ilgili sektör

tablosu esas alınarak tabloda verilmiş olan sınır değerler üzerinden arıtma tesisinin toplam azot için %35 ve toplam fosfor için %15 giderim yapacağı kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Çalışmada verisi elde edilemeyen tesislerden gelecek debi ve kirlilik yükü için endüstrilerden kaynaklanan kirlilik yükleri %25 oranında artırılmıştır.

### 5.2.2. Yayılı Kaynaklı Yük Hesabı

Çalışma kapsamında havzadaki başlıca yayılı kirlletici kaynakları “arazi kullanımı, tarımsal faaliyetler (gübre kullanımı), hayvancılık faaliyetleri, düzensiz depolama alanı sızıntı suları” olarak sınıflandırılmıştır. Hesaplamalar yapılırken yayılı kaynaklı kirlilik parametreleri olarak toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) dikkate alınmıştır. Yayılı kirlilik yüklerinin belirlenmesinde hesaplama dahil edilen faaliyet türü ve bu faaliyete karşılık birim yük değerleri Tablo 5.3’te sunulmuştur.

Tablo 5.3. Yayılı Kirlilik Değerleri Hesaplanırken Kullanılan Birim Yükler

| <b>Faaliyet</b>               | <b>Birim Yükler</b>                              |                                                    |
|-------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>Arazi Kullanımı</b>        | <b>Toplam Azot (TN) (kg/ha/yıl)</b>              | <b>Toplam Fosfor (TP) (kg/ha/yıl)</b>              |
| Kırsal Alanlar                | 9,5                                              | 0,90                                               |
| Kentsel Alanlar               | 3                                                | 0,5                                                |
| Orman Alanları                | 2                                                | 0,05                                               |
| Çayır ve Meralar              | 5                                                | 0,1                                                |
| <b>Hayvancılık</b>            | <b>Toplam Azot (TN) (kg/hayvan ağırlığı/gün)</b> | <b>Toplam Fosfor (TP) (kg/hayvan ağırlığı/gün)</b> |
| Büyükbaş                      | 0,30                                             | 0,10                                               |
| Küçükbaş                      | 0,42                                             | 0,06                                               |
| Kümes Hayvanı                 | 0,52                                             | 0,22                                               |
| <b>Tarımsal Faaliyet</b>      | <b>Toplam Azot (TN)</b>                          | <b>Toplam Fosfor (TP)</b>                          |
| Gübre                         | %10                                              | %2,5                                               |
| <b>Katı Atık Sızıntı Suyu</b> | <b>Toplam Azot (TN) (mg/L)</b>                   | <b>Toplam Fosfor (TP) (mg/L)</b>                   |
| Sızıntı Suyu                  | 400 mg/L                                         | 10 mg/L                                            |
| <b>Fosseptik Kullanımı</b>    | <b>Toplam Azot (TN) (g/kişi/gün)</b>             | <b>Toplam Fosfor (TP) (g/kişi/gün)</b>             |
|                               | 4,8                                              | 0,7                                                |

Yayılı kirlilik kaynakları alıcı ortama iklimsel, meteorolojik ve jeolojik faktörlerin sebep olduğu taşınım ve dönüşüm olayları ile ulaşmaktadır. Bu yüzden kirliliğin tamamı alıcı ortama ulaşmazken bir kısmı ulaşmakta ve kirlilik yükünü arttırmaktadır.

Literatürde yapılan çalışmalar dikkate alınarak, tarımsal ve hayvancılık faaliyetleri sonucu toplam azotun %15'i, toplam fosforun %3'ü, fosseptik kullanımı sonucu toplam azotun %80'ni, toplam fosforun ise %70'inin alıcı ortama ulaştığı kabul edilmiştir.

### 5.3. Su Kalite İndeks Hesaplaması

Kızılırmak ve Yeşilirmak Nehir Havzalarının su kalite indeksine göre karşılaştırma yapılarak kalite sınıflarının ortaya konulması ve elde edilen verilerin ulusal mevzuatlarda yer alan sınır değerlere göre değerlendirilmesi havza bazında su kalitesinin belirlenmesini sağlayacaktır. Türkiye'de su kalite indeks çalışmaları son yıllarda yaygın olarak yapılmaktadır. Ancak çalışmalar genellikle izleme istasyonu az olan sınırlı alanlarda yürütülmektedir. Geniş bir havzanın su kalite değerlendirmesini yapan çalışma henüz yapılmamıştır. Bu çalışma üç farklı su kalite indeks metodu sonuçlarını kıyaslayarak literatüre katkı sunacaktır.

Bu çalışmada Havzalarda yer alan 44 istasyon için su kalite indeksi hesaplanmıştır. Su kalite indeks hesaplamaları yapılırken Ulusal Sanitasyon Vakfı (USV) su kalite indeksi ve Kanada Çevre Bakanlığı (KÇBK) su kalite indeks modelleri kullanılmıştır. Su kalitesi verilerinin anlaşılabilir şekilde ifade edilmesi ve yorumlanabilmesi için su kalite indeks modellerinden yararlanılmıştır. Karmaşık istatistiksel yöntemleri basitleştirip ve büyük veriler için uygulamayı kolaylaştırmaları bu indeks modellerini tercih etmede etkili olmuştur.

Ulusal Sanitasyon Vakfı su kalite indeks modeli için istasyon bazlı 8 parametre (pH, sıcaklık, bulanıklık, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, askıda katı madde, nitrat, toplam fosfat, çözülmüş oksijen, yüzde doyumluk) değeri kullanılmıştır. Bu indeks modelinin hesaplanmasında gerekli olan 9 parametreden, fekal koliform değerleri istasyonlarda istikrarlı ölçümler sağlanamadığı içi hesaplama dahil edilmemiştir. Bu nedenle indeks modeli modifiye edilmiş ve aşamaları sırasıyla gösterilmiştir.

#### USV Su Kalite İndeks Modifikasyonu

Fekal koliform değeri hesaplama dahil edilmeyeceği için, bu parametrenin ağırlık etki değerini etkisiz hale getirmemiz gerekmektedir. Fekal koliform değerinin etki değeri "0,16", etkisiz hale getirilmesi için;

$$1-0,16=0,84 \quad (5.1)$$

Kullandığımız parametrelerin etki değeri toplamı “0,84” olarak ifade edilmektedir. Her parametrenin, fekal koliform parametresi çıkarıldıktan sonraki yeni değerlerini hesaplamak ve etki değerleri toplamını “1” yapabilmek için Denklem 5.2’deki işlem uygulanır;

$$W_{Co} için; \frac{0,17}{0,84} = 0,20 \quad (5.2)$$

Denklem 5.2’de yapılan işlem her parametre için ayrı ayrı yapılarak modifiye edilmiş yeni etki değerleri Tablo 5.4’te gösterilmiştir.

Tablo 5.4. USV-SKİ 8 parametreye göre modifiye edilmiş yeni etki değerleri (Wi)

| Orijinal Etki Değeri |                   |                  | Modifiye Edilmiş Etki Değeri |                   |                  |
|----------------------|-------------------|------------------|------------------------------|-------------------|------------------|
| Sayı                 | Parametre         | Etki Değeri (Wi) | Sayı                         | Parametre         | Etki Değeri (Wi) |
| 1                    | Çözünmüş Oksijen  | 0,17             | 1                            | Çözünmüş Oksijen  | 0,20             |
| 2                    | pH                | 0,11             | 2                            | pH                | 0,13             |
| 3                    | Sıcaklık          | 0,10             | 3                            | Sıcaklık          | 0,12             |
| 4                    | Nitrat            | 0,10             | 4                            | Nitrat            | 0,12             |
| 5                    | Toplam fosfor     | 0,10             | 5                            | Toplam fosfor     | 0,12             |
| 6                    | Bulanıklık        | 0,08             | 6                            | Bulanıklık        | 0,10             |
| 7                    | Toplam katı madde | 0,07             | 7                            | Toplam katı madde | 0,08             |
| 8                    | BOİ <sub>5</sub>  | 0,11             | 8                            | BOİ <sub>5</sub>  | 0,13             |
| 9                    | Fekal koliform    | 0,16             |                              |                   |                  |
| <b>Toplam</b>        |                   | <b>1</b>         | <b>Toplam</b>                |                   | <b>1</b>         |

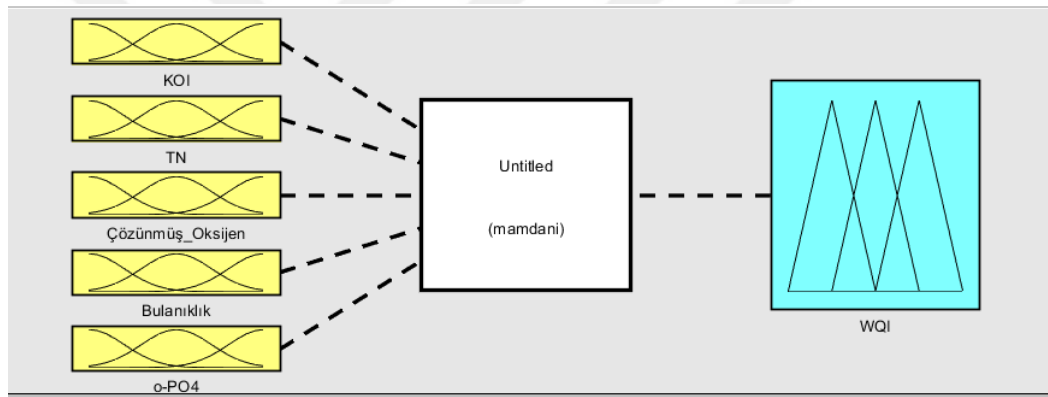
Bu tez çalışmasında 26 su kalite parametresi değerlendirmeye alınmıştır. İlk olarak USV-SKİ’i ile hesaplanacak parametreler seçilmiş (8 parametre)’tir. Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi (KÇBK) su kalite indeks hesaplama modelinde ise 18 su kalite izleme parametresi (kimyasal oksijen ihtiyacı, renk, çözünmüş oksijen, iletkenlik, amonyum azotu, kjeldahl azotu, toplam azot, ortofosfat fosforu, mangan, selenyum, klor, kurşun, nikel, bakır, çinko, alüminyum, demir, krom) kullanılarak hesaplanmış ve su kalitesinin özelliği belirtilmiştir.

Kanada su kalite indeks değeri her bir istasyon için ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Bu indeks modelinin hesaplanmasındaki temel şart, en az 4 parametre ve her bir parametre için en az 4 mevsim dönemde alınan ölçüm değerlerinin olması gerekmektedir. Değer hesaplaması yapılırken F1, F2 ve F3 faktör hesabı yapılmakta ve hedef değer yönetmelik değeri kabul edilmektedir. Yönetmelikte üç kalite sınıfı yer almaktadır. Hedef değer kabulü yapılırken suyun hangi amaçla kullanılacağı önem arz etmektedir. Çalışmada hedef değer sınıf II (iyi) kalite kriter değerleri kabul edilmiştir. Başarısız parametre değeri ise istasyonlarda ölçüm yapılan parametrelerin yıllık veri dağılımı içinde yönetmelik sınır değerini aşan değerler kabul edilmektedir.

Hesaplamalar yapılırken parametrelerin tümü değerlendirilmeye katılmakta ve ölçüm yapılmayan aylar değerlendirme dışında bırakılmaktadır.

#### 5.4. Bulanık Mantık Yaklaşım Modeli

Çalışmada sağlanan su kalitesi izleme verileri kullanılarak bulanık mantık yöntemi ile tahmin modeli oluşturulmuştur. Modelleme için MATLAB®(2021) yazılımı kullanılmış ve “Mamdani” modeli uygulanmıştır. Basit yapısı ve Max-Min çıkarımı nedeniyle “Mamdani” yaklaşımı kullanılmıştır. Kullanılan çıkarım yöntemi “Min” ve toplama yöntemi “Max” olmuştur. Matlab yazılımında bulanık mantık araçları; Bulanık taban, üyelik fonksiyonları tabanı, kural tabanı ve kural görüntüleyicidir. Bulanık Taban’a girdi-çıkıtları sayısı girilir ve adlandırılır, fonksiyon metotları ve durulaştırma yöntemi belirlenir. Şekil 5.3’te modelin uygulama ekranı görülmektedir.



Şekil 5.3. Bulanık Mantık Mamdani Yaklaşım Model Girdi-Çıktı Değişkenleri

Üyelik fonksiyonu bölümü üyelik fonksiyonu yöneticisidir. Girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyonlarının şekilleri, sınırları ve parametreleri belirlenir. Kural tabanı, kural yöneticisidir ve girdi ile çıktı arasında belirlenen kurallar girilir. Kurallar girilirken kuralları birbirine bağlayan operatör bu bölümde belirlenir. Kural görüntüleyici durulaştırma ekranıdır, giriş değişkenlerine göre kurallara bağlı olarak çıkış değişkenleri alınır.

Modelin kurulumu için girdi parametresi olarak 26 su kalite parametresini kullanmak çok fazla kural oluşturmayı gerektirir bu da modelin uygulanmasını zorlaştırır. Girdi parametrelerini uygun bir metodla azaltmak modelin güvenilirliğini arttırmaktadır. Bu amaçla her iki havza için TBA’da belirlenen baskın parametreler bulanık mantık girdi verisi olarak kullanılmıştır. Girdi ve çıktı değişkenlerinin her

birinde 5'er üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Kural tabanında “yada (or)” operatörü ve durulaştırma adımıyla “centroid (ağırlık merkezi) yöntemi” uygulanmıştır.

## 5.5. Veri Analizi

### 5.5.1. Karakteristik Su Kalite Sınıfı Belirleme Yöntemi

İstasyon bazlı her bir örnekleme parametresi için elde edilen veriler kullanılarak Hazen yöntemine göre %95 olasılıkla aşamayacak değerleri belirlemek amacıyla hesaplamalar yapılmıştır. İstasyonların yıllık verileri Yerüstü Su Kalitesi Kontrolü Yönetmeliği kıta içi su kaynakları sınır değerleri ve İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019b) kategorilerine göre su kalite standartları referans alınarak değerlendirme yapılmış ve her bir istasyon için parametre bazlı hesaplanmış karakteristik değerlere göre su kalite sınıfları belirtilmiştir. Bu istatistiksel yöntemin uygulanması için her bir istasyon ve her bir parametre için en az 10 adet ölçüm değerine ihtiyaç duyulmaktadır. Gerekli veri sağlandıktan sonra aşağıdaki adımlar izlenerek karakteristik değer hesaplanır.

Hesaplama yapılırken;

1. Yöntemin asgari veri sayısı sağlandıktan sonra n adet su kalitesi verisi küçükten büyüğe doğru sıralanır.  
 $X_i$ :  $i = 1, 2, \dots, n$  olarak adlandırılır.
2. Yüzde kesri (p) 0,95 olarak hesaplanır.
3. Sıra numarası (r) hesaplanır; sıra numarası genellikle kesirli bir sayıdır.
4. Kesirli sıra numarasının bir altı ve üstündeki tam sayılara karşı gelen veriler arasında doğrusal enterpolasyon yapılarak, aşağıdaki ifade yardımıyla r'ye karşı gelen su kalitesi değeri ( $X_r$ ) hesaplanır. (Denklem 5.3) ( $X_i$ : r'nin tam kısmı, f: r'nin ondalık kısmı)

$$X_r = (1 - f).X_i + f.X_{i+1} \quad (5.3)$$

$X_r$ , karakteristik su kalite değerini ifade eder. Toplam 44 istasyon ve 26 parametre özelinde 1144 değer ile istatistiki değerlendirmeler yapılmıştır. Parametre sınıflandırmaları yapıldıktan sonra ağırlıklı olarak hangi kalite sınıflarının baskın olduğu istasyon bazlı belirlenmiş ve değerlendirilmiştir.

### 5.5.2. Temel Bileşen Analizi

Yeşilırmak ve Kızılırmak nehir havzasındaki su kalitesinin izlendiği tüm istasyonlardan alınan numunelerle ölçümlenen 26 parametre verisine Temel Bileşenler Analizi uygulanmıştır. Parametreler; pH, sıcaklık (T), renk, bulanıklık (NTU), çözülmüş oksijen (Ç.O), % doymunluk, iletkenlik (E.İ), askıda katı madde (AKM), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ<sub>5</sub>), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam fosfor (TP), orto fosfat fosforu (o-PO<sub>4</sub>), nitrat azotu (NO<sub>3</sub>-N), amonyum azotu (NH<sub>4</sub>-N), toplam kjeldahl azotu (TKN), toplam azot (TN), klor (Cl<sup>-</sup>), mangan (Mn), selenyum (Se) ve ağır metaller (Cu, Pb, Ni, Fe, Zn, Al, Cr)'dir.

DSİ Genel Müdürlüğünden alınan veriler SPSS 25 programında veri girişi yapılarak analiz için hazırlanmıştır. Veri girişi yapılırken tespit edilen kayıp veriler için SPSS programı ile veri ataması yapılmıştır. Öncelikle boş hücrelerin rastgele dağılıp dağılmadığı test edilip, rastgele dağıldığı için veri atanabileceği yapılan analiz sonucuna göre tespit edilmiştir. İstatistiki yöntemlere uygun olarak program tarafından yapılan atmalar sonrası boş hücreler doldurulmuştur.

Veri setinin TBA analizi için uygun olup olmadığını belirlemek amacıyla 3 yöntem kullanılmaktadır. Bunlar korelasyon matrisinin oluşturulması, Bartlett testi, ve Kaiser Meyer-Olkin (KMO) testleridir. Analize devam etmek için “Korelasyon matrisi birim matristir” hipotezinin reddedilmesi, yani, değişkenler arasında yüksek korelasyonlar olduğu, başka bir deyişle veri setinin TBA analizi için uygun olduğu ortaya çıkmaktadır.

### 5.6. Coğrafi Bilgi Sistemleri Haritalaması

Bu metodolojinin uygulanmasında Arc/GIS (versiyon 10) CBS yazılımından yararlanılmıştır. Kızılırmak ve Yeşilırmak Havzalarındaki izleme noktaları için Arcgis programında açılan veriler Display XY Data komutuyla bilgilerin içeriğine girilerek coğrafi koordinat sistemi olarak WGS84 seçilmiştir. Bu işlemten sonra veride belirtilen bilgiler noktasal olarak yer almaktadır. Haritalamada kullanılan bilgilerin excel dosyasından shape dosyasına çevirmek için ConversionTools-To Shapefile komutu kullanılmıştır. Raster harita yapmak için Spatial Analyst Tools-Interpolation IDW komutuna girilmiştir. Oluşan Raster haritasını tam çalışma alanına göre kesmek için Data Management Tools-Raster-Raster Processing-Clip komutuyla çalışma alanının sınırları belirlenmiş ve uzaysal dağılım haritaları oluşturulmuştur.



Tablo 6.1. Kızılırmak Havzası Yerüstü Su Kütleleri Üzerindeki Noktasal Kaynaklı Baskı Türleri

| Alıcı Ortamda Noktasal Kaynaklı Baskıya Sebep Olan Kaynaklar                      | Tesis/Deşarj Sayısı                                                                                   | Baskı Oluşturan Tesis/Deşarj Sayısı | Baskı Altında Olan Su Kütlelerinin Sayısı |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|
| Aritilmeden doğrudan deşarjlar ve septik tanklar                                  | 3677                                                                                                  | 27                                  | 23                                        |
| Aritilmiş Atıksu Deşarjları                                                       | 106                                                                                                   | 14                                  | 13                                        |
| <b>Evsel Atıksu Deşarjları</b>                                                    | İçme Suyu Korunan Alanlardaki Aritilmiş ve Aritilmemiş Atıksu Deşarjları                              | 150                                 | 23                                        |
|                                                                                   | Kentsel Hassas Alanlardaki Aritilmiş ve Aritilmemiş Atıksu Deşarjları                                 | 2870                                | 93                                        |
| <b>Endüstriyel Atıksu Deşarjları (Hem arıtılmış hem de arıtılmamış deşarjlar)</b> | Biyobozunur maddeler içeren endüstriyel deşarjlar                                                     | 169                                 | 12                                        |
|                                                                                   | Biyobozunur olmayan maddeler içeren endüstriyel deşarjlar                                             | 1147                                | 1147                                      |
|                                                                                   | Endüstriyel atık suların kanalizasyon şebekesine, septik tanka deşarj edilmesi veya deşarjin olmaması | 976                                 | -                                         |
| <b>Düzenli Depolama Sahaları</b>                                                  | 28                                                                                                    | -                                   | -                                         |
| <b>Jeotermal Tesisler</b>                                                         | 121                                                                                                   | 82                                  | 20                                        |
| <b>Madencilik Faaliyetleri</b>                                                    | 15                                                                                                    | 13                                  | 10                                        |
| <b>Balık Çiftlikleri</b>                                                          | 77                                                                                                    | 43                                  | 8                                         |

Kızılırmak Havzasında 306 nehir, 144 göl, 9 geçiş suyu (4'ü nehir özelliği taşıyan, 5'i göl özelliği taşıyan) ve 3 kıyı olmak üzere 462 yerüstü suyu kütlesi bulunmaktadır. Havzada bulunan toplam 462 yerüstü su kütlesi içinde 147 tanesi (110 nehir suyu, 32 göl suyu, 2 kıyı suyu ve 3 geçiş suyu) önemli noktasal baskı altındadır. Havzada evsel atıksu deşarjlarından 97 yerüstü su kütlesinin, endüstriyel atıksu deşarjlarından 66 yerüstü su kütlesinin, balık çiftlikleri kaynaklı kirlilikten 6 yerüstü su kütlesinin, jeotermal kaynaklı deşarjdan 20 yerüstü su kütlesinin ve madencilik faaliyetli deşarjdan 10 yerüstü su kütlesinin önemli baskı altında olduğu tespit edilmiştir.

### Evsel Atıksu Deşarjları

Kızılırmak Havzasında 23'ü ileri arıtma ve 83'ü de ikincil arıtma olmak üzere toplamda 106 tane kentsel atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Kentsel atıksu arıtma tesisleri için parametre bazında baskılar belirlenirken eşik yük değerleri dikkate alınmıştır. BOİ<sub>5</sub> için bu değer belirlenirken nüfusun 2000'in üzeri olan yerleşim yerlerinin 60 g/kişi.gün yönetmelik referans değeri hesaplamaya dahil edilerek 43,8 ton/yıl BOİ<sub>5</sub> eşik yük değeri belirlenmiştir. Arıtılmış evsel atıksu deşarjları için kabul edilen eşik değeri aşan 14 arıtma tesisi saptanırken, bu tesislerin yerüstü su kütleleri için önemli baskı unsuru oldukları belirlenmiştir. İçme Suyu Korunan Alanlarındaki deşarjlar için önerilen eşik değer doğrultusunda 2 tane kentsel atıksu arıtma tesisinin yerüstü su kütleleri için önemli baskı yarattığı tespit edilmiştir. Kentsel hassas alanlardaki deşarjlar için önerilen eşik değer doğrultusunda 54 kentsel atıksu arıtma tesisinin yerüstü su kütleleri için önemli baskı olarak tanımlanmıştır. Sonuç olarak, 55 KAAT yerüstü suyu kütleleri için önemli baskı olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, deşarj edilen yerüstü suyu kütleleri ile birlikte aşağıdaki tabloda sunulmaktadır.

Kentsel atık suların toplandığı septik tanklarla ilgili olarak 152 yerleşim yeri BOİ yükleri nedeniyle yerüstü suyu kütleleri için önemli baskı olarak belirlenmiştir. İçme Suyu Korunan Alanlarındaki deşarjlar için önerilen eşik değer doğrultusunda 147 yerleşim yeri yerüstü suyu kütleleri için önemli baskı olarak tanımlanmıştır. Ek olarak, kentsel hassas alanlardaki deşarjlar nedeniyle 5 yerleşim yeri önemli baskı olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda, Kızılırmak Havzasındaki 152 yerleşim yeri yerüstü suyu kütleleri için önemli baskı olarak belirlenmiştir.

Kızılırmak Havzasındaki 462 yerüstü su kütlesinden 97'sinin (74 nehir su kütlesi, 22 göl su kütlesi ve 1 geçiş suyu kütlesi) potansiyel olarak belirlenmiş İçme Suyu Korunan Alanları ve Kentsel Hassas Alanlara yapılan deşarjlar da göz önünde bulundurularak AAT, doğrudan deşarjlar ve septik tanklardan kaynaklanan deşarjlar nedeniyle önemli baskı altında olduğu tespit edilmiştir.

### Endüstriyel Atıksu Deşarjları

Kızılırmak Havzasında aktif olarak faaliyet gösteren 27 Organize Sanayi Bölgesi (OSB) ve 1 Serbest Bölge (Kayseri Serbest Bölgesi) bulunurken, 2527 endüstriyel tesis de faaliyet göstermektedir. Bu tesisler arasında 1714'ü (%68) organize sanayi bölgelerinde (OSB'lerde) bulunurken, 706'sı (%28) kentsel-kırsal

bölgelerde, 51'i (%2) küçük sanayi sitelerinde (KSS) ve 24'ü (%1) ise serbest bölgede yer almaktadır. Havzada, bazı tekil sanayi tesisleri atıksularını Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının deşarj izinlerini sağlayarak kendi arıtma tesislerinde arıtırken, kentsel alanlarda bulunan bazı sanayi tesisleri ise atıksularını belediye kanalizasyon şebekesine deşarj etmektedir. Organize Sanayi Bölgelerinden 7'si, Kayseri Serbest Bölgesi ve kentsel-kırsal bölgelerde yer alan tesislerden 76'sı atıksularını alıcı ortama deşarj etmektedir.

Yerüstü su kütlelerinde noktasal baskı yaratan endüstriyel faaliyet alanları alıcı ortama biyobozunur ve biyobozunur olmayan atıksu deşarj etmektedir. Biyobozunur endüstriyel atıksu deşarjı yapan 48 endüstriyel tesis ve biyobozunur olmayan 23 endüstriyel tesis, 1 serbest bölge ve 7 organize sanayi bölgesi yerüstü suyu kütleleri için önemli baskıya sebep olmaktadır. Sonuç olarak, 71 endüstriyel tesis, biyobozunur ve biyobozunur olmayan endüstriyel atıksu deşarjları nedeniyle yerüstü suyu kütleleri için önemli baskı oluştururken havzadaki 66 su kütlesinin sanayi tesislerinin deşarjları nedeniyle önemli baskı altında olduğu tespit edilmiştir.

#### Balıkçılık

Kızılırmak Havzasında 77 balık çiftliği bulunmaktadır. Kıyı su kütlelerinde veya açık deniz alanlarında 6 tesis bulunurken, 71 tesis ise kıta içi su kütlelerinde yer almaktadır. Yerüstü su kütleleri üzerinde 43 tesisin önemli noktasal baskı oluşturduğu tespit edilmiştir. Özellikle Derbent Barajı ve Yamula Barajı üzerinde en yüksek TN ve TP yükünün olduğu tespit edilmiştir. Havzada toplam 8 su kütlesinin (6 göl suyu, 2 kıyı suyu kütlesi) su ürünleri yetiştiriciliği tesisleri nedeniyle baskı altında olduğu tespit edilmiştir.

#### Jeotermal Sular

Kızılırmak Havza sınırlarında 4 adet jeotermal tesis mevcuttur ve bu tesislerin 1'i sağlık hizmeti sunmak amacıyla kurulmuş olup, termal sularını yerüstü su kaynaklarına doğrudan deşarj etmesi sebebiyle önemli baskı yarattığı saptanmıştır. Sonuç olarak, 3 (1'i sağlık amaçlı, 1'i enerji üretim amaçlı ve 1'i de sera ısıtması amaçlı) jeotermal tesis havzadaki 20 yerüstü su kütlesine (15 nehir suyu ve 5 göl suyu) önemli baskı oluşturmaktadır.

### Düzenli Depolama Sahaları

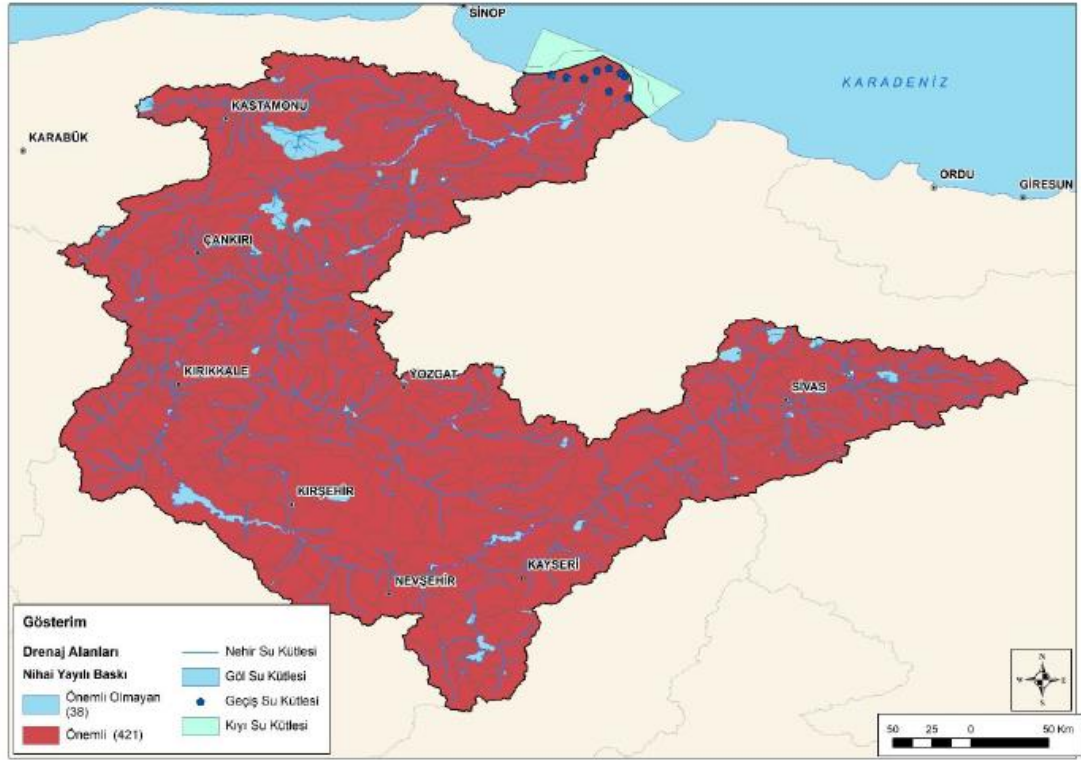
Kızılırmak Havzasında 26 tane aktif olarak işletilmekte olan 21 düzenli depolama sahası ve 7 aktarma istasyonu bulunmaktadır. Düzenli depolama sahaları katı atık yönetimi ve teknik standartlara uygun şekilde inşaa edildikleri için önemli bir baskı yaratmadıkları belirlenmiştir.

### Madencilik Faaliyetleri

Kızılırmak Havzasında yer alan 15 tane madencilik faaliyet alanı noktasal baskı kaynağı oluşturmaktadır. Bu maden işletmelerinin 2'si tehlikeli atık üretmezken, havzada yer alan 13 tane maden işletmesi ise cevher işleme teknolojisi ile maden zenginleştirme faaliyetleri yürütmekte olup bu durum su kalitesini ciddi şekilde etkilediği için önemli baskı unsuru oluşturmaktadırlar. Havzada 7 nehir suyu ve 3 göl suyu kütlesi madencilik faaliyetlerinden dolayı önemli baskıya maruz kaldığı belirlenmiştir.

#### **6.1.1.2. Yerüstü Su Kaynakları Üzerindeki Yayılı Kaynaklı Baskılar**

Yayılı kaynaklar, yerüstü su kütlelerini yüzey akışı, yağış ve torağa sızma gibi farklı yollarla taşınarak kirletirler. Yayılı kirlilik kaynaklarından dolayı ortaya çıkan baskıların sebebi hayvancılık, gübre kullanımı, pestisitler, madenler ve düzensiz depolama alanlarıdır. Havzada bulunan toplam 462 yerüstü su kütlesi içinde 421 tanesi (283 nehir suyu, 130 göl suyu ve 8 geçiş suyu) önemli yayılı kaynaklı baskı altındadır. Şekil 6.2'de Kızılırmak Havzası yerüstü suları için önemli yayılı kaynaklı baskıların haritası verilmiştir. Tablo 6.2'de ise Kızılırmak Havzası yerüstü su kütlelerine baskı oluşturan yayılı kaynaklar ve bu baskılardan etkilenen su kütleleri sayıları özetlenmiştir.



Şekil 6.2. Kızılırmak Havzası Yerüstü Su Kütleleri Üzerindeki Yayılı Kaynaklı Baskılar

Tablo 6.2. Kızılırmak Havzası Yerüstü Su Kütleleri Üzerindeki Yayılı Kaynaklı Baskı Türleri

| Yayılı kaynaklardan gelen baskı türleri | Toplam Tesis Sayısı | Baskı Oluşturan Tesis Sayısı | Baskı Altında olan Su Kütlesi Sayısı | Baskı Altında olmayan Su Kütlesi Sayısı |
|-----------------------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Hayvancılık Faaliyetleri</b>         | 289959              | 285369                       | 349                                  | 113                                     |
| <b>Gübre</b>                            | -                   | -                            | 364                                  | 98                                      |
| <b>Pestisitler</b>                      | -                   | -                            | -                                    | 462                                     |
| <b>Düzensiz Depolama Alanları</b>       | 41                  | 27                           | 27                                   | 435                                     |
| <b>Madencilik</b>                       | 124                 | 117                          | 69                                   | 393                                     |

Kızılırmak Havzasında gübre kullanımı kaynaklı 364 yerüstü su kütlesi (340 nehir suyu, 23 göl suyu ve 1 geçiş suyu), hayvancılık faaliyetleri kaynaklı kirlilikten 349 yerüstü su kütlesi (257 nehir suyu, 86 göl suyu ve 6 geçiş suyu), madencilik faaliyetleri kaynaklı kirlilikten 69 yerüstü su kütlesi (60 nehir suyu ve 9 göl suyu) ve düzensiz depolama alanlarında boşaltım sonucu oluşan kirlilikten dolayı 26 yerüstü su kütlesi (21 nehir suyu ve 5 göl suyu) önemli baskı altında olduğu belirlenmiştir. Noktasal kaynaklı baskı unsurlarına göre yayılı kaynaklı baskılar havzada daha geniş alanlarda su kütlelerini etkilemektedir.

### Hayvancılık Faaliyetleri

Kızılırmak Havzasında her bir su kütlesinin drenaj alanında yer alan büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvancılığı faaliyet alanları dikkate alınmıştır. Korunan alan bulunan yerüstü suyu kütlelerinde yer alan ve 1.600 kg/yıl ve üzeri TP yükü üreten tesisler önemli olarak değerlendirilmiştir. TN yükü 3.500 kg/yıl veya üzerinde olan tüm tesisler önemli olarak tanımlanmıştır. Sonuç olarak, 285.369 hayvancılık tesisi önemli olarak tanımlanmıştır. Hayvancılık açısından önemli baskı altında olarak tanımlanacak her bir yerüstü suyu kütlesinin değerlendirmesini göstermektedir. Sonuç olarak, 462 yerüstü suyu kütlesinden 349 tanesinin önemli baskı altında olduğu belirlenmiştir.

### Gübre Kullanımı

Gübrelerin neden olduğu yayılı baskılara ilişkin değerlendirmeler 462 yerüstü suyu kütlesinden 364 tanesinin önemli baskı altında olduğu göstermektedir.

### Pestisit Kullanımı

Kızılırmak Havzasında ekili tarım alanı başına pestisit tüketimi ortalama 1,23 kg-L/ha'dır. Arazi başına en fazla pestisit tüketimi olan su kütleleri Ankara ve Aksaray'da bulunmaktadır. Havzada hesaplama dahil edilen 268 su kütlesinin 40 adetinde birim alan başına pestisit kullanım değeri FAO tarafından yayınlanan Türkiye'nin 2021 yılı ortalama pestisit kullanım değeri olan 2,32 kg/ha değerinin üzerindedir.

### Düzensiz Depolama Alanları

Kızılırmak Havzasında 41 tane düzensiz depolama alanı bulunmaktadır. Düzensiz depolama alanlarının 27'sinin yerüstü su kütleleri üzerinde önemli baskı oluşturduğu ve 27 yerüstü su kütlesinin (21 nehir suyu, 5 göl suyu ve 1 geçiş suyu) düzensiz depolama alanlarından dolayı önemli baskı altında olduğu tespit edilmiştir.

### Madencilik Faaliyetleri

Kızılırmak Havzasında yer alan 28 tane madencilik faaliyet alanı yayılı baskı kaynağı oluşturmaktadır. Bu maden işletmelerinin 3'ü aktif olmayan madde çıkardıkları ve tehlikeli atık üretmedikleri için su kütleleri üzerinde önemli baskıya sebep olmazken, havzada yer alan 25 tane maden işletmesi ise metal yükleri

açısından su kalitesini ciddi şekilde etkilediği için önemli baskıya sebep olduğu saptanmıştır.

#### 6.1.1.3. Yeraltı Su Kaynakları zerindeki Baskılar

Su kaynaklarına etki eden noktasal ve yayılı kaynaklı baskı faktörleri yeraltı suyunun miktar ve kalite özelliklerini etkilemektedir. Miktar açısından etki eden baskılar su çekimlerini etkilerken, kalite açısından etki eden baskılar suyun kullanım özelliklerini etkilemektedir. Havza sınırları içerisinde 210 yeraltı suyu kütlesi bulunmaktadır. Miktar açısından baskılar incelendiğinde yüksek baskı altında olan 22 yeraltı suyu kütlesi, orta baskı altında olan 8 yeraltı suyu kütlesi ve düşük baskı altında olan 85 yeraltı suyu kütlesi tespit edilirken, 95 kütlenin ise baskı faktörüne maruz kalmadığı tespit edilmiştir. Kalite açısından değerlendirme yapılırken noktasal ve yayılı kirleticilerin baskı unsurları dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde 134 yeraltı suyu kütlesinin yüksek baskı, 52 kütlenin orta baskı ve 23 kütlenin düşük baskı altında olduğu 1 su kütlesinin ise baskı altında olmadığı değerlendirilmiştir. Noktasal ve yayılı kaynaklı faktörlerin havzadaki yeraltı su kütlelerine kalite açısından yarattığı baskı düzeyleri Tablo 6.3'te özetlenmiştir.

Tablo 6.3. Kızılırmak Havzası Yeraltı Su Kütleleri zerindeki Baskı Türleri

| Baskı Türü                             | Baskı Yok | Düşük Baskı | Orta Baskı | Yüksek Baskı |
|----------------------------------------|-----------|-------------|------------|--------------|
| Evsel Atıksu Deşarjları                | 46        | 141         | 12         | 11           |
| Endüstriyel Atıksu Deşarjları          | 142       | -           | -          | 68           |
| Akaryakıt İstasyonlarının Baskıları    | 119       | 62          | 15         | 14           |
| Düzensiz Atık Depolama Alanları        | 185       | 15          | 1          | 9            |
| Madencilik                             | 123       | 6           | 37         | 44           |
| Jeotermal                              | 182       | -           | -          | 28           |
| Hayvancılık                            | 37        | 45          | 95         | 33           |
| Tarımsal (Gübre ve Pestisit Kullanımı) | 1         | 61          | 65         | 83           |

Kızılırmak Havzasında yeraltı su kütleleri üzerindeki baskılar düşük, orta veya yüksek baskı şeklinde üç kategoride değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçlarına göre, tarımsal faaliyetlerinden kaynaklanan yüksek baskı, havzadaki yeraltı su kütlelerine diğer tüm baskılara kıyasla daha fazla etki oluştururken, düzensiz

depolama alanlarından kaynaklı baskılar yeraltı su kütleleri üzerinde en az etki oluşturmaktadır.

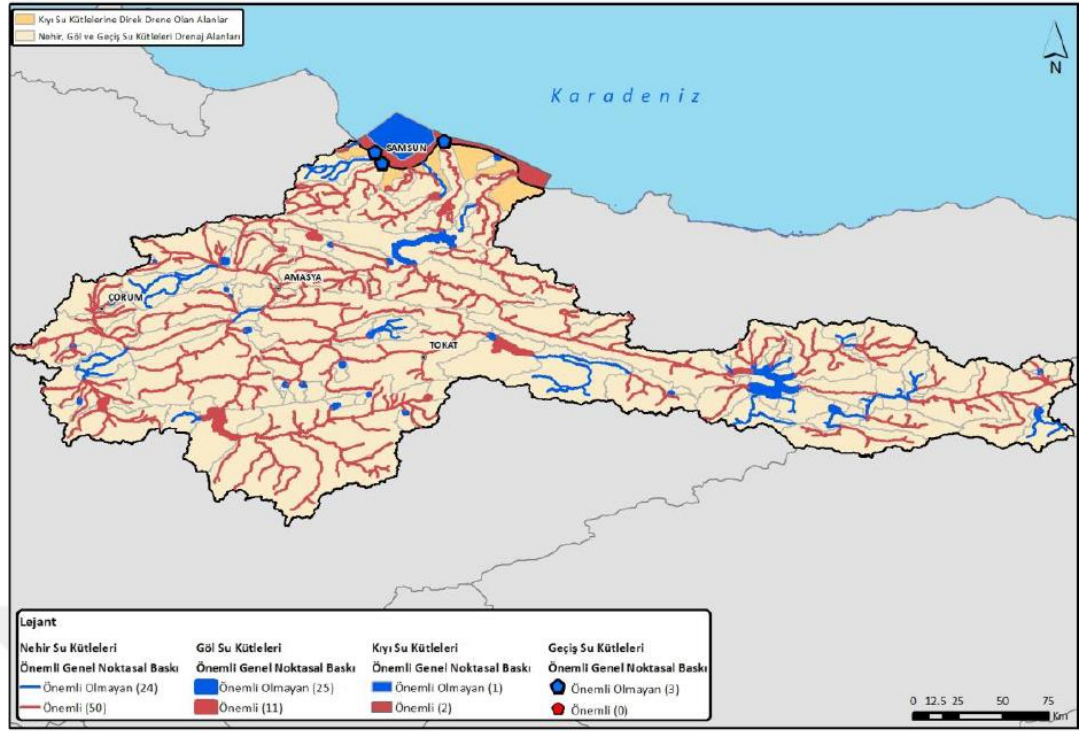
#### **6.1.1.4. Kızılırmak Havzasındaki Etkiler**

Noktasal ve yayılı kaynaklı baskılar neticesinde doğal durumdaki değişim etki olarak tanımlanmaktadır. Doğal durum çok farklı şekillerde değişebilmektedir. Ancak bu çalışmada Su Çerçeve Direktifinde yer alan çevresel hedeflerle (iyi ekolojik durum ve iyi kimyasal durum) uyumsuzluk riskine yol açan önemli etkiler dikkate alınmıştır. Kızılırmak Havza sınırları içerisinde yer alan 462 yerüstü su kütlesinin %56'sının etki altında olduğu tespit edilmiştir. Havzadaki temel sorun kimyasal etki ve onun doğurduğu risklerdir. Havzadaki su kütlelerine önemli baskılar evsel atıksu deşarjları, endüstriyel atıksu deşarjları ve genel baskılardan kaynaklı olmaktadır. Su kütlelerinin %7'si çevresel hedeflere ulaşamama konusunda çok yüksek risk altındadır, %6'sı yüksek risk ve %23'ü orta düzeyde başarısız olma riskiyle karşı karşıyadır. Kızılırmak Havzasında su kütlesi başına nihai risk sonuçları değerlendirildiğinde 34 su kütlesinin çok yüksek risk altında olduğu görülmektedir.

#### **6.1.2. Yeşilirmak Havzasındaki Baskı ve Etkiler**

##### **6.1.2.1. Yerüstü Su Kaynakları Üzerindeki Noktasal Kaynaklı Baskılar**

Evsel atıksu deşarjları (arıtılmış su, doğrudan deşarjlar ve arıtma çamuru), endüstriyel atıksu deşarjları, balık çiftlikleri, jeotermal sular, madencilik faaliyetleri ve düzenli depolama sahalarından gelen atıksular noktasal kirlilik kaynaklı baskıları oluşturmaktadır. Şekil 6.3'de Yeşilirmak Havzası yerüstü suları için önemli noktasal baskıların haritası verilmiştir. Tablo 6.4'de ise Yeşilirmak Havzası yerüstü su kütlelerine noktasal baskı oluşturan kaynaklar ve bu baskılardan etkilenen su kütleleri sayıları özetlenmiştir.



Şekil 6.3. Yeşilirmak Havzası Yerüstü Su Kütelleri Üzerindeki Noktasal Kaynaklı Baskılar

Tablo 6.4. Yeşilirmak Havzası Yerüstü Su Kütelleri Üzerindeki Noktasal Kaynaklı Baskı Türleri

| Alıcı Ortamda Noktasal Kaynaklı Baskıya Sebep Olan Kaynaklar                                                        | Tesis /Deşarj Sayısı | Baskı Oluşturan Tesis/Deşarj Sayısı | Baskı Altında Olan Su Kütellerinin Sayısı | Baskı Altında Olmayan Su Kütellerinin Sayısı |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|
| <b>Evsel Atıksu Deşarjları</b>                                                                                      |                      |                                     |                                           |                                              |
| Arıtılmış Atıksu Deşarjları                                                                                         | 41                   | 12                                  | 10                                        | 106                                          |
| Arıtılmadan doğrudan deşarjlar                                                                                      | 386                  | 46                                  | 26                                        | 90                                           |
| Septik Tanklar                                                                                                      | 2337                 | 128                                 | 19                                        | 97                                           |
| <b>Endüstriyel Atıksu Deşarjları (Hem arıtılmış hem de arıtılmamış deşarjlar)</b>                                   |                      |                                     |                                           |                                              |
| Biyoçözünür maddeler içeren endüstriyel deşarjlar                                                                   |                      | 6                                   | 6                                         | 110                                          |
| Tehlikeli madde içeren endüstriyel deşarjlar                                                                        |                      | 95                                  | 27                                        | 89                                           |
| Kanalizasyon şebekesine doğrudan yapılan endüstriyel atıksu deşarjları (Öncelikli Maddeler ve Belirli Kirleticiler) | 3046                 | 936                                 | 35                                        | 81                                           |
| <b>Düzenli Depolama Sahaları</b>                                                                                    | 6                    | -                                   | 0                                         | 116                                          |
| <b>Jeotermal Tesisler</b>                                                                                           | 10                   | 9                                   | 6                                         | 110                                          |
| <b>Madencilik Faaliyetleri</b>                                                                                      | 10                   | 7                                   | 7                                         | 109                                          |
| <b>Balık Çiftlikleri</b>                                                                                            | 75                   | 22                                  | 4                                         | 112                                          |

Evsel ve endüstriyel kaynaklı deşarjlar, insan faaliyetleri noktasal kaynaklı baskıya sebep faktörler arasında öne çıkmaktadır. Havzada 116 adet (74 nehir suyu, 36 göl suyu, 3 geçiş suyu ve 3 kıyı suyu kütlesi) yerüstü su kütlesi bulunmaktadır. Bu yer üstü su kütleleri arasında 63 su kütlesi (50 nehir suyu kütlesi, 11 göl suyu kütlesi ve 2 kıyı suyu kütlesi) noktasal baskı altındadır. Baskı oluşturan unsurlar aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

#### Evsel Atıksu Deşarjları

Yeşilırmak Havzasında 28 kentsel atıksu arıtma tesisi (AAT) (5 ileri arıtma, 13 ikincil arıtma, 7'si atıl durumda ve 3'ü inşaat aşamasında) ve 36 doğal arıtma alanı (23 tanesi aktif, 10'u atıl durumda ve 3'ü inşaat aşamasında) bulunmaktadır. Mevcut kentsel atıksu arıtma tesislerinin 7'si ve 1 doğal arıtma alanı (SASKİ Terme Merkez AAT) yılda 32,8 tondan fazla  $BOI_5$  yüküne sahip olduğu için yerüstü su kütleleri üzerinde önemli baskı yaratan kirlilik kaynaklarıdır. Bunun yanı sıra, mevcut kentsel AAT'lerin 4'ü (SASKİ Ağcagüney Mah. Merkez AAT, SASKİ Esençay Mah. AAT, SASKİ Asarcık Merkez AAT ve SASKİ Ayvacık AAT) içme suyu temini amaçlı kullanılan barajların potansiyel koruma alanı içerisinde yer almalarından dolayı önemli baskı kaynağı olarak tespit edilmiştir. Nüfusu 2.000'den fazla olan 42 yerleşim yerinin, kentsel atıksuların doğrudan deşarjı sebebiyle yerüstü su kütleleri üzerinde önemli baskı oluşturduğu tespit edilmiştir. Dört yerleşim yerinin ise potansiyel koruma alanı olarak belirlenen ve içme suyu temini için kullanılan Çakmak Barajı ve Koçhisar Barajı bölgesindeki deşarjlardan dolayı önemli baskı oluşturduğu belirlenmiştir.

Kentsel atıksuların tutulduğu septik tanklar (sızdırmaz da olsa ve münferiden değerlendirildiğinde bile) söz konusu olduğunda, Yeşilırmak Havzasında nüfusu 2.000'den az olan 127 yerleşim yerinin, potansiyel koruma alanı olarak belirlenen ve içme suyu amacıyla kullanılan barajlar bölgesinde bulundukları için önemli baskı kaynağı olarak tespit edilmiştir. Son olarak, Yeşilırmak Havzasında sızdırmaz septik tankların olduğu 1 yerleşim yeri (nüfusu 2.000-2.500 arasında) yılda 32,8 tondan fazla  $BOI_5$  yükünün aşılması sebebiyle önemli baskı kaynağı olarak tespit edilmiştir. Bu sebeple Yeşilırmak Havzasındaki 45 su kütlesinin (35 nehir suyu, 8 göl Kütlesi ve 2 kıyı su) kentsel atıksu deşarjlarından dolayı önemli baskı altında olduğu belirlenmiştir.

### Endüstriyel Atıksu Deşarjları

Yeşilırmak havzasında aktif olarak faaliyet gösteren 13 organize sanayi bölgesi (OSB) bulunurken, 3.046 endüstriyel tesis de faaliyet göstermektedir. Bu tesisler arasında 380'i (%12) organize sanayi bölgelerinde (OSB'lerde) bulunurken, 590'ı (%19) kentsel bölgelerde, 1.300'ü (%43) küçük sanayi sitelerinde bulunmaktadır. Geri kalan 776 tesis (%26) kırsal bölgelerde yer almaktadır. Havzada en sık yapılan endüstriyel faaliyet türü gıda imalatı (%21), mobilya imalatı (%21) ve metal ürünleri imalatıdır (%21). Sonuç olarak 42 yerüstü su kütlesi (36 nehir suyu, 4 göl suyu ve 2 kıyı suyu) endüstriyel faaliyetlerden dolayı önemli baskı altındadır.

### Balık Çiftlikleri

Yeşilırmak havzasında göl suyu kütlelerinde faaliyet gösteren tesis sayısı fazladır ve havzada bulunan 75 balık çiftliğinin 22'sinin su kütleleri üzerinde önemli baskı oluşturduğu belirlenmiştir. Özellikle Almus Barajı ve Çamlığöze Barajı üzerinde en yüksek nütrient yükünün olduğu tespit edilmiştir. Havzada 4 su kütlesi (3 göl suyu ve 1 kıyı suyu) balık çiftliklerinden dolayı önemli baskı altındadır.

### Jeotermal Tesisler

Havzada farklı amaçlarla kurulmuş 10 adet jeotermal tesis mevcuttur ve bu tesislerin 9'u sağlık hizmeti sunmak amacıyla kurulmuş olup, termal suyu yerüstü sularına doğrudan veya kanalizasyon şebekesine deşarjlarının bulunması sebebiyle önemli baskıya sebep olduğu tespit edilmiştir. Yeşilırmak Havzasında önemli su kütlelerinin jeotermal deşarjlar nedeniyle baskı altında olduğu belirlenmiştir.

### Düzenli depolama Sahaları

Yeşilırmak Havzasında yer alan 6 adet faal düzenli depolama sahası belediye atıklarının atık yönetimi ve teknik standartlara uygun şekilde inşaa edildikleri için önemli bir baskı yaratmadıkları tespit edilmemiştir.

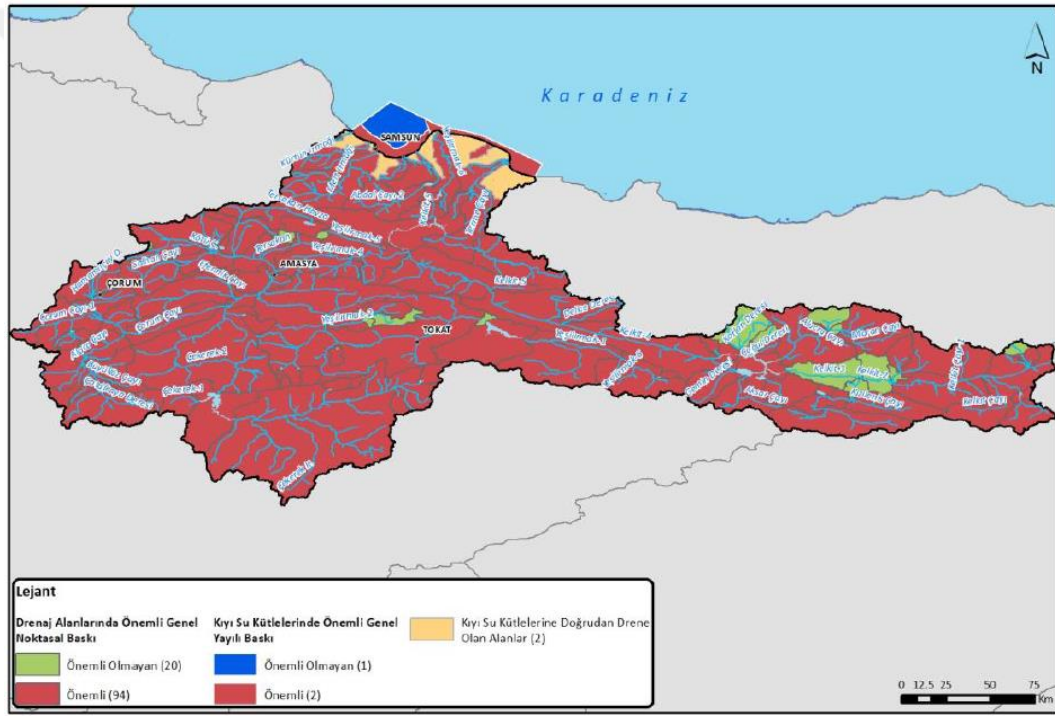
### Madencilik Faaliyetleri

Yeşilırmak Havzasında noktasal kaynaklı baskı oluşturan 10 adet maden işletmesi bulunmaktadır. Bu maden işletmelerinin 2'si aktif olmayan madde çıkardıkları ve tehlikeli atık üretmedikleri için su kütleleri üzerinde önemli baskıya sebep olmamaktadır. Maden zenginleştirme faaliyetlerinden dolayı cevher işleme

teknolojisine sahip 7 maden işletmesinin ise 7 su kütlesine (6 nehir suyu ve 1 kıyı suyu) önemli baskı yarattığı belirlenmiştir.

#### 6.1.2.2. Yerüstü Su Kaynakları Üzerindeki Yayılı Kaynaklı Baskılar

Yayılı kirlilik kaynaklarından dolayı ortaya çıkan baskıların sebebi hayvancılık, gübre kullanımı, pestisitler, madenler ve düzensiz depolama alanlarıdır. Havzada bulunan toplam 116 yer üstü su kütlesi içinde 96 tanesi (64 nehir suyu, 30 göl suyu ve 2 kıyı suyu) önemli yayılı baskı altındadır. Şekil 6.4'de Yeşilirmak Havzası yerüstü suları için önemli yayılı baskıların haritası verilmiştir. Tablo 6.5'de Yeşilirmak Havzası yerüstü su kütlelerine baskı oluşturan yayılı kaynaklar ve bu baskılardan etkilenen su kütleleri sayıları özetlenmiştir.



Şekil 6.4. Yeşilirmak Havzası Yerüstü Su Kütleleri Üzerindeki Yayılı Kaynaklı Baskılar

Tablo 6.5. Yeşilirmak Havzası Yerüstü Su Kütleleri Üzerindeki Yayılı Kaynaklı Baskı Türleri

| Yayılı kaynaklardan gelen baskı türleri | Toplam Tesis Sayısı | Baskı Oluşturan Tesis Sayısı | Baskı Altında olan Su Kütlesi Sayısı | Baskı Altında olmayan Su Kütlesi Sayısı |
|-----------------------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| Hayvancılık Faaliyetleri                | -                   | -                            | 30                                   | 86                                      |
| Gübre                                   | -                   | -                            | 70                                   | 46                                      |
| Pestisitler                             | -                   | -                            | 69                                   | 47                                      |
| Düzensiz Depolama Alanları              | 37                  | 35                           | 23                                   | 93                                      |
| Madencilik                              | 83                  | 50                           | 26                                   | 90                                      |

## Hayvancılık Faaliyetleri

Yeşilırmak Havzasında büyükbaş hayvancılık yapılan tüm yerleşim yerlerinin %85'inden fazlasında yerleşim yeri başına en fazla 1.000 büyükbaş hayvan vardır. Sadece 3 yerleşim yerinde 10.000'den fazla büyükbaş hayvan bulunmaktadır. Buralar Tekkeköy, Turhal ve Suluova'dır. Havzadaki büyükbaş hayvanların toplam sayısı ise 1.276.369'dur. Küçükbaş hayvan yetiştiriciliği ise havzada daha az sayıda yerleşim yerinde yapılmaktadır. Havzadaki küçükbaş hayvanların toplam sayısı ise 1.233.157'dir. Bu hayvanlar toplam 1.435 yerleşim yerine dağılmış durumdadır. Tavukçuluğun sebep olduğu toplam nütrient yükünün en büyük kısmı öncelikle Çorum ve Amasya illerinde birikmiş durumdadır. İkinci olarak da Suluova ilçesinde bu yük birikmiştir. Bu yerüstü su kütlelerinin 29'unun önemli baskı altında olduğu belirlenmiştir.

### Gübre Kullanımı

Yerüstü su kütlelerinin 116 yerüstü su kütlesinden 70'ine gübre kullanımından kaynaklanan azot ve fosfor girdi yüklerinin önemli baskı yarattığı tespit edilmiştir.

### Pestisit Kullanımı

Yeşilırmak Havzasında en yaygın tarımsal faaliyet tahıl üretimiymişken, meyve ve sebze üreticiliği ise ikinci yaygın tarımsal faaliyettir. Üretim faaliyetlerinde sıklıkla pestisitler kullanılmakta ve en yaygın kullanılan Sipermetrin (66 drenaj alanında) ve Diklorvos (17 drenaj alanında) pestisit türleridir. Bu iki pestisit türünün kullanımından dolayı 69 yerüstü su kütlesinin önemli baskı altında olduğu belirlenmiştir.

### Düzensiz Depolama Alanları

Yeşilırmak Havzasında 37 adet (1 hektardan büyük) düzensiz depolama alanı bulunmaktadır. Bu alanların 15'i aktif olarak kullanılırken, 22'si kullanılmamaktadır. Düzensiz depolama alanlarından 11 tanesi yerüstü su kütlelerine yakın olduğu için önemli baskı oluşturmaktadır. Nitrata hassas alanda bulunmaları ve yerüstü su kütlelerine yakın olmalarından dolayı 24 adet düzensiz depolama alanı önemli baskı unsuru olmaktadır. Düzensiz depolama alanlarının 35'i yerüstü su kütleleri üzerinde önemli baskı oluşturduğu ve 23 yerüstü su kütlesinin düzensiz depolama alanlarından dolayı önemli baskı altında olduğu belirlenmiştir.

## Madencilik Faaliyetleri

Yeşilırmak Havzasında yer alan toplam 83 tane madencilik faaliyet alanı yayılı baskı kaynağı oluşturmaktadır. Bu maden işletmelerinin 19'u aktif olmayan madde çıkardıkları ve tehlikeli atık üretmedikleri için su kütleleri üzerinde önemli baskıya sebep olmadığı ve havzada yer alan 50 tane maden işletmesinin ise önemli baskıya sebep olduğu saptanmıştır. Yerüstü su kütlelerinden 26'sının üzerinde önemli baskı yarattığı belirlenmiştir.

### 6.1.2.3. Yeraltı Su Kaynakları Üzerindeki Baskılar

Yeşilırmak Havzasında miktar açısından etki eden baskılar su çekimlerini etkilerken, kalite açısından etki eden baskılar suyun kullanım özelliklerini etkilemektedir. Evsel ve endüstriyel atıksu deşarjları, yüzey akışları, madencilik faaliyetleri ve jeotermal sular yeraltı su kaynakları üzerinde noktasal kaynaklı baskı oluştururken, hayvancılık faaliyetleri, tarım alanlarında pestisit ve gübre kullanımı, düzensiz atık depolanması sonucu oluşan sızıntı suları da yeraltı su kaynakları üzerinde yayılı kaynaklı baskı oluşturan faktörlerdir. Yeşilırmak havzasında yeraltı sularına baskı yaratan noktasal ve yayılı kaynaklı faktörler Tablo 6.6'da özetlenmiştir.

Tablo 6.6. Yeşilırmak Havzası Yeraltı Su Kütleleri Üzerindeki Baskı Türleri

| Baskı Türü                                    | Baskı Yok | Düşük Baskı | Orta Baskı | Yüksek Baskı |
|-----------------------------------------------|-----------|-------------|------------|--------------|
| <b>Evsel Atıksu Deşarjları</b>                | -         | 18          | 29         | 7            |
| <b>Endüstriyel Atıksu Deşarjları</b>          | 39        | -           | -          | 15           |
| <b>Atık Depolama</b>                          | 25        | 15          | 7          | 7            |
| <b>Madencilik Faaliyetleri</b>                | 12        | 3           | 15         | 24           |
| <b>Jeotermal Faaliyetler</b>                  | 51        | -           | -          | 3            |
| <b>Hayvancılık</b>                            | -         | 20          | 22         | 12           |
| <b>Tarımsal (Gübre ve Pestisit Kullanımı)</b> | -         | 14          | 26         | 14           |

Yeraltı su kütleleri üzerindeki baskılar düşük, orta veya yüksek baskı şeklinde üç kategoride değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçlarına göre, madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan yüksek baskı, havzadaki yeraltı su kütlelerine diğer tüm baskılara kıyasla daha fazla etki oluştururken, jeotermal faaliyetlerden kaynaklı baskılar yeraltı su kütleleri üzerinde en az etki oluşturmaktadır. Havza sınırları

içerisinde 54 yeraltı su kütlesi bulunmaktadır. Bu su kütlelerinden 34'ü yüksek baskı altındayken, 16'sı orta baskıya maruz kalmakta ve 4 yeraltı su kütlesi ise düşük baskı altında olduğu belirlenmiştir.

#### **6.1.2.4. Yeşilirmak Havzasındaki Etkiler**

Yeşilirmak Havzasında etki değerlendirmesi yapılırken su kütlelerinin fizikokimyasal, kimyasal, biyolojik ve hidromorfolojik değişimleri ile Su Çerçeve Direktifinde yer alan öncelikli hedefler (kimyasal durum ve ekolojik durum) dikkate alınmıştır. Yerüstü su kütleleri için değerlendirme yapıldığında, Yeşilirmak Havzasında yer alan 74 nehir suyu kütlesinden 46'sı (%62), 36 göl suyu kütlesinden 22'si (%62), 3 kıyı suyu kütlesinin 3'ü (%100) ve 3 geçiş suyu kütlesinden 1'inin (%33) etki altında olduğu tespit edilmiştir. Genel bir değerlendirme yapıldığında Yeşilirmak Havzasında yer alan 116 yerüstü su kütlesinin 72'sinin yüksek risk altında olduğu, 38 yerüstü su kütlesinin olası risk altında olduğu ve 6 yerüstü su kütlesinin ise risk altında olmadığı tespit edilmiştir. Yeraltı su kütlelerinde etki değerlendirmesi yapılırken miktar ve kalite açısından iki farklı kategori dikkate alınmaktadır. Havzadaki 11 yeraltı su kütlesinin miktar açısından, 24 yeraltı su kütlesinin ise kalite açısından etki altında olduğu tespit edilmiştir. Havzada tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin yoğun olarak yapılması yüzey ve yeraltı sularında besin maddeleri kaynaklı kirliliği artırmaktadır.

### **6.2. Nehir Havzalarındaki Günlük Maksimum Toplam Yük (GMTY) Değerlerinin Belirlenmesi**

Günlük Maksimum Toplam Yük yaklaşım modeli parametre bazlı hedeflenen su kalitesinin sağlanması için su kütlesinin alabileceği maksimum yük miktarının belirlenmesini ve bu hesaplanan yük değerinin noktasal ve yayılı kaynaklar içindeki dağılımını ifade etmektedir. Modelin uygulamasının ilk basamağı kirletici kaynakların tespiti ve tanımlanması yani havzadaki baskı ve etkilerin değerlendirilmesidir. İkinci basamak bağlantı analizidir. Havza sınırlarında yer alan su kütleleri üzerindeki noktasal ve yayılı kaynaklardan gelen yükler ayrı ayrı hesaplanarak, çevresel hedeflerin sağlanıp sağlanamadığı kontrol edilmektedir. Hedeflerin sağlanamadığı durumlarda paylaşım analizi ile havzanın kaldırabileceği toplam yükün kirletici kaynaklar arasında paylaştırılması maksadıyla farklı senaryolar ele alınmaktadır.

Her iki çalışma havzası için GMTY değerleri noktasal ve yayılı kaynaklı kirleticilerin havzalara ne düzeyde baskı yarattıklarının belirlenmesi için toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) yükleri üzerinden bir hesaplama yaklaşımı geliştirilmiştir.

Kızılırmak ve Yeşilirmak havzalarında bulunan su kütleleri üzerinde membaıdan mansaba kadar tüm noktasal ve yayılı kaynaklar göz önünde bulundurularak kirlilik yükleri hesaplanmıştır. Hesaplama yapılırken noktasal kirletici kaynaklar olarak; evsel atıksu deşarjları ve endüstriyel atıksu deşajları dikkate alınmıştır. Su kütlesindeki arka plan kirletici miktarlarını da kapsayacak şekilde yayılı kaynaklı kirleticiler dahil edilmiş, yayılı kaynak olarak; hayvancılık faaliyetleri, tarımsal gübre kullanımı, düzensiz depolama sahaları ve arazi kullanımı hesaplamaya dahil edilmiştir. Noktasal ve yayılı kaynaklara ek olarak güvenlik payı da eklenmektedir. Güvenlik payı, mevsimsel değişiklikler ve varsayımların neden olduğu belirsizlikleri en aza indirmek amacıyla hesaba katılmaktadır.

Günlük Maksimum Toplam Yük değerleri hesaplanırken, 6 NHYP, 3NHYP, DSİ Kızılırmak ve Yeşilirmak Havzası Master Planları ve Kızılırmak ve Yeşilirmak için hazırlanmış Tübitak Havza Koruma Eylem Planlarından noktasal ve yayılı kaynaklara ait bilgiler temin edilmiştir. YSKY Çevresel Kalite Standartaları esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Güvenlik payı %10 alınmış, TN ve TP parametreleri bazında tüm havza için tek bir yük değeri hesaplanmıştır. Kızılırmak için GMTY üzerinden güvenlik payı da hesaba dahil edilerek giderim yüzdeleri hesaplanmıştır. İzin verilen yük hesaplanırken havzanın genel olarak çevresel kalite standardı olan sınıf II kriteri kullanılmıştır.

#### **6.2.1. Kızılırmak Havzası Günlük Maksimum Toplam Yük Değerleri**

Kızılırmak Havzasında noktasal kaynaklı yük hesabının ilk adımı evsel atıksu deşarjları ve bu deşarjlardan kaynaklı azot ve fosfor yükleri belirlenmektedir. Evsel atıksu deşarjlarını; atıksu arıtma tesislerine deşarj, doğrudan alıcı ortama deşarj ve septik tanklara deşarj olmak üzere üç başlık altında değerlendirilmiş ve tek bir toplam yük değeri şeklinde ifade edilmiştir. Havza sınırlarında 106 atıksu arıtma tesisine deşarj, 58 doğrudan alıcı ortamına deşarj ve 3.619 septik tanka deşarj yapılmaktadır. Kızılırmak Havzasındaki evsel atıksu deşarjları kaynaklı azot ve

fosfor yükleri (Tablo 6.7) sırasıyla TN 4.024,54 ton/yıl ve TP 754,25 ton/yıl olarak hesaplanmıştır.

Endüstriyel atıksu deşarjları noktasal kaynaklı yük hesaplamasının ikinci adımını oluşturmaktadır. Kızılırmak Havzasında 2.527 tane endüstriyel faaliyet gösteren tesis bulunmaktadır. Bu tesislerden 1.793 tanesi organize sanayi bölgeleri, serbest bölgeler, sanayi siteleri veya küçük sanayi tesisleri içerisinde yer almaktadır. Kalan 734 tesis ise münferittir. Münferit tesislerin deşarj durumu değerlendirildiğinde; 45 tesiste deşarj edilecek atıksu olmadığından deşarj yok, 559 tesis kanalizasyon şebekesine ve septik tanka deşarj, 84 tesis alıcı ortama deşarj, 4 tesis doğrudan deşarj ve 42 tesisin ise deşarj durumu bilinmemektedir. Kızılırmak Havzasındaki endüstriyel atıksu deşarjları kaynaklı azot ve fosfor yükleri (Tablo 6.7) sırasıyla TN 370,74 ton/yıl ve TP 49,53 ton/yıl olarak hesaplanmıştır.

Kızılırmak Havzasında hayvancılık faaliyetleri kaynaklı yayılı yükleri belirlerken önce havzadaki üç kategoride (büyükbaş, küçükbaş, kümes hayvanı) hayvan sayılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Havzada 1.053.152 süt için, 814.626 et için büyükbaş hayvan, 3.095.190 küçükbaş hayvan ve 14.042.148 kümes hayvanı yetiştirilmektedir. Kızılırmak Havzasındaki hayvancılık faaliyetleri kaynaklı azot ve fosfor yükleri sırasıyla TN 127.891,59 ton/yıl ve TP 554.585,91 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Hayvancılık faaliyetleri sonucu toplam azotun %15'i, toplam fosforun %3'ünün alıcı ortama ulaştığı varsayılmıştır. Bu nedenle su kütlelerine ulaşan ve hesaplama dahil edilen olan azot ve fosfor yükleri (Tablo 6.7) sırasıyla TN 19.183,74 ton/yıl ve TP 16.637,54 ton/yıl olarak belirlenmiştir.

Havzadaki yayılı kaynak türlerinin bir diğeri de tarımsal faaliyetlerdir. Kızılırmak Havzasında tarımda kullanılan azotlu gübrelerin birim kullanım değerleri 10,4 kg/ha.yıl iken fosforlu gübrelerin birim kullanım değerleri 1,3 kg/ha.yıl olarak tespit edilmiştir. Kızılırmak Havzasındaki tarımsal gübre kaynaklı azot ve fosfor yükleri sırasıyla TN 131.328,71 ton/yıl ve TP 56.405,78 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Tarımsal faaliyetler sonucu toplam azotun %15'i, toplam fosforun %3'ünün alıcı ortama ulaştığı varsayılmıştır. Bu nedenle su kütlelerine ulaşan ve hesaplama dahil edilen olan azot ve fosfor yükleri (Tablo 6.7) sırasıyla TN 19.699,27 ton/yıl ve TP 1.709,37 ton/yıl olarak belirlenmiştir.

Kızılırmak Havzasında 41 tane düzensiz depolama sahası mevcuttur. Havzada düzensiz depolamanın yaygın olması sebebiyle sızıntı suları açısından oluşan yayılı yüklerin havzanın hemen hemen her yerinde mevcut olduğu ve 27 düzensiz döküm sahasının havzadaki su kütlelerine önemli baskı uyguladığı görülmektedir. Sızıntı suları kaynaklı azot ve fosfor yayılı yük değerleri hesaplanırken azot için 400 mg/L ve fosfor için 10 mg/L birim yükler dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Kızılırmak Havzasında düzensiz depolama sahalarından kaynaklı (Tablo 6.7) toplam azot yükü 480,6 ton/yıl iken toplam fosfor yükü 11,8 ton/yıl olduğu tespit edilmiştir.

Arazi kullanım kaynaklı yayılı yükler hesaplanırken kentsel alanlar, kırsal alanlar, orman alanları, çayır ve meralar havza bazında hesaplamaya dahil edilirken CORINE 2018 veritabanı yardımı ile elde edilen her bir arazi kullanımına ait alansal verinin, literatürde yer alan birim yük değerleri (Tablo 5.5) ile çarpılması sonucunda hesaplanmıştır. Azot kaynaklı yayılı yük değeri (Tablo 6.7) 10.129,4 ton/yıl iken fosfor kaynaklı yayılı yük değeri 269,8 ton/yıl olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.7. Kızılırmak Havzasındaki Azot ve Fosfor Yüklerinin Noktasal ve Yayılı Kaynaklara Göre Karşılaştırması

| Kirlilik Kaynağı |          | (ton/yıl)         | (%)              | (%)        |
|------------------|----------|-------------------|------------------|------------|
| TN               | Noktasal | Evsel             | 4.024,54         | 7,46       |
|                  |          | Endüstriyel       | 370,74           | 0,69       |
|                  |          | <b>Toplam</b>     | <b>4.395,28</b>  | 8,15       |
|                  | Yayılı   | Hayvancılık       | 19.183,74        | 35,6       |
|                  |          | Tarımsal          | 19.699,31        | 36,6       |
|                  |          | Düzensiz Depolama | 480,6            | 0,9        |
|                  |          | Arazi Kullanımı   | 10.129,4         | 26,9       |
|                  |          | <b>Toplam</b>     | <b>49.493,05</b> | <b>100</b> |
|                  | Noktasal | Evsel             | 754,25           | 3,88       |
|                  |          | Endüstriyel       | 49,53            | 0,26       |
|                  |          | <b>Toplam</b>     | <b>803,78</b>    | 4,14       |
| TP               | Yayılı   | Hayvancılık       | 16.637,54        | 85,7       |
|                  |          | Tarımsal          | 1.692,17         | 8,7        |
|                  |          | Düzensiz Depolama | 11,8             | 4,2        |
|                  |          | Arazi Kullanımı   | 269,8            | 1,4        |
|                  |          | <b>Toplam</b>     | <b>18.611,31</b> | <b>100</b> |

GMTY hesaplama modeli sonuçlarına göre mevcut durumda yük dağılımında membaıdan gelen kirlilik yüklerinin ve yayılı kaynakların oranının noktasal kirlilik kaynaklarına oranla çok daha fazla olduğu saptanmıştır (Tablo 6.8).

Tablo 6.8. Kızılırmak Havzasında Kirlilik Kaynakları Bazında Yık Hesaplama Tablosu

| Kaynak                                         | Debi (m <sup>3</sup> /gün) | TN            | TP            |
|------------------------------------------------|----------------------------|---------------|---------------|
|                                                |                            | Yık (ton/yıl) | Yık (ton/yıl) |
| GMTY                                           | 15.897.600                 | 66.730,17     | 1160,52       |
| Güvenlik Payı                                  |                            | 6.673,02      | 116,052       |
| İzin Verilen (GMTY- Güvenlik Payı)             |                            | 60.057,16     | 1044,47       |
| Noktasal Yık Toplamı                           | 650.759,46                 | 4.395,28      | 803,78        |
| Evsel Atıksu                                   | 590.809,46                 | 4.024,54      | 754,25        |
| Endüstriyel Atıksu                             | 59.950                     | 370,74        | 49,53         |
| Membaıdan Gelen                                | 15.246.840,5               | 63.998,6      | 1.113,02      |
| Yayılı Kaynaklar Toplamı                       | ---                        | 49.493,05     | 18.611,31     |
| Mevcut Toplam                                  |                            | 117.886,93    | 20.528,11     |
| Giderim İhtiyacı (Mevcut Toplam- İzin verilen) |                            | 57.829,77     | 19.483,64     |
| % Giderim İhtiyacı                             |                            | <b>%49,06</b> | <b>%94,9</b>  |

Nehir Havzasının özümseyebileceği (izin verilen) yük havzada oluşan toplam azot parametresinin yaklaşık %50'sine tekabül ederken bu oran toplam fosfor parametresinde oldukça düşük olup yaklaşık %5 oranındadır. Bu durum havzada oluşan her iki yük kaynağını azaltıcı senaryolar oluşturulmasını gerektirmektedir. Ancak fosfor yükü nehrin özümseyebileceği oranın çok üstünde olduğu için iyileştirme senaryoları kaynağında azaltıma yönelik olmalıdır. Havzada hayvancılık ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklı fosfor yükü yayılı kaynaklı kirlilik yükünü oluşturmaktadır ve mevcut toplam yük içindeki payı çok yüksektir. Bu nedenle havza içinde sıkı tedbirler alınarak kirliliğin kaynağında önlenmesi yoluna gidilmesi fayda sağlayacaktır. Fosfor içermeyen gübre kullanımı, evlerde deterjan kullanımının kısıtlanması ya da endüstrilerde temiz üretim teknolojilerinin uygulanması gibi farklı tedbirler fosfor yükünün azaltılmasında etkili olabilmektedir.

#### 6.2.2. Yeşilirmak Havzası Günlük Maksimum Toplam Yık Değerleri

Yeşilirmak Havzasındaki başlıca kirletici kaynaklar olan noktasal ve yayılı kaynaklar ile bunların toplamından oluşan besi maddesi (nütrient) yüklerinin (azot ve fosfor) yıl bazlı dağılımı Tablo 6.9'da verilmektedir. Hesaplamadaki temel prensip

mevcut veriler doğrultusunda kirletici kaynakların geçmişten bugüne nasıl değiştiğinin tespiti ve geleceğe uyarlanmasıdır. Bu kapsamda noktasal veya yayılı kirletici kaynaklar için literatürde tanımlanmış ve benzer projelerde kullanılmış olan birim kirlilik yüklerinden faydalanılmıştır. Noktasal kaynaklı yük hesabı yapılırken evsel atıksu deşarjları ve endüstriyel deşarjlar hesaba katılmıştır. Havzada işletmede olan toplam 30 AAT faaliyet gösterirken, 7 AAT planlama ya da inşaat aşamasındadır. Atıksu arıtma tesisine yılda toplam 4.101,1 ton TN girerken %60,15'i arıtılarak kalan 1.634,48 ton/yıl'lık TN alıcı ortama ulaşmaktadır. Atıksu arıtma tesisine yılda 975,64 ton TP girerken %51,28'i arıtılmakta ve kalan 475,33 ton/yıl'lık TP su kütlelerine karışmaktadır.

Havzada endüstriyel atıksu deşarjları kaynaklı noktasal yük hesabı yapılırken, faaliyet gösteren tesislerin arıtma tesislerine bağlı olup olmadıkları gözötilmiştir. Yeşilırmak Havzasında 3.046 tane endüstriyel faaliyet gösteren tesis bulunmaktadır. Bu tesislerden 380 tanesi organize sanayi bölgelerinde, 590'ı kentsel bölgelerde, 1.300'ü küçük sanayi sitelerinde ve geri kalan 776 tesis kırsal bölgelerde yer almaktadır. Yeşilırmak Havzasındaki endüstriyel atıksu deşarjları kaynaklı azot ve fosfor yükleri sırasıyla TN 348,05 ton/yıl ve TP 17,40 ton/yıl olarak hesaplanmıştır.

Yeşilırmak Havzasında hayvancılık faaliyetleri kaynaklı yayılı yükleri belirlerken önce havzadaki üç kategoride (büyükbaş, küçükbaş, kümes hayvanı) hayvan sayılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Havzada 1.276.369 büyükbaş hayvan, 1.233.157 küçükbaş hayvan ve 8.498.409 kümes hayvanı yetiştirilmektedir. Yeşilırmak Havzasındaki hayvancılık faaliyetleri kaynaklı azot ve fosfor yükleri sırasıyla TN 45.584 ton/yıl ve TP 24.010 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Hayvancılık faaliyetleri sonucu toplam azotun %15'i, toplam fosforun %3'ünün alıcı ortama ulaştığı varsayılmıştır. Bu nedenle su kütlelerine ulaşan ve hesaplamaya dahil edilen olan azot ve fosfor yükleri sırasıyla TN 6.837,6 ton/yıl ve TP 720,3 ton/yıl olarak belirlenmiştir.

Havzadaki yayılı kaynak türlerinin bir diğeri de tarımsal faaliyetlerdir. Yeşilırmak Havzasındaki tarımsal gübre kaynaklı azot ve fosfor yükleri sırasıyla TN 75.692 ton/yıl ve TP 66.550 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Tarımsal faaliyetler sonucu toplam azotun %15'i, toplam fosforun %3'ünün alıcı ortama ulaştığı varsayılmıştır. Bu nedenle su kütlelerine ulaşan ve hesaplamaya dahil edilen olan

azot ve fosfor yükleri sırasıyla TN 11.353,8 ton/yıl ve TP 1.996,5 ton/yıl olarak belirlenmiştir.

Yeşilirmak Havzasında 37 tane düzensiz depolama sahası mevcuttur. Havzada düzensiz depolamanın yaygın olması sebebiyle sızıntı suları açısından oluşan yayılı yüklerin havzanın hemen hemen her yerinde mevcut olduğu ve 35 düzensiz döküm sahasının havzadaki su kütlelerine önemli baskı uyguladığı görülmektedir. Sızıntı suları kaynaklı azot ve fosfor yayılı yük değerleri hesaplanırken azot için 400 mg/L ve fosfor için 10 mg/L birim yükler dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Yeşilirmak Havzasında düzensiz depolama sahalarından kaynaklı toplam azot yükü 149,9 ton/yıl iken toplam fosfor yükü 3,3 ton/yıl olduğu tespit edilmiştir. Arazi kullanım kaynaklı yayılı yükler hesaplanırken kentsel alanlar, kırsal alanlar, orman alanları, çayır ve meralar havza bazında hesaplamaya dahil edilirken CORINE veritabanı yardımı ile elde edilen her bir arazi kullanımına ait alansal verinin, literatürde yer alan birim yük değerleri (Tablo 5.3'te) ile çarpılması sonucunda hesaplanmıştır. Havzada azot kaynaklı yayılı yük değeri 6.058,6 ton/yıl iken fosfor kaynaklı yayılı yük değeri 156,0 ton/yıl olarak hesaplanmıştır (Tablo 6.9).

Tablo 6.9. Yeşilirmak Havzasındaki Azot ve Fosfor Yüklerinin Noktasal ve Yayılı Kaynaklara Göre Karşılaştırması

| Kirlilik Kaynağı |          | (ton/yıl)         | (%)             | (%)        |
|------------------|----------|-------------------|-----------------|------------|
| TN               | Noktasal | Evsel             | 1.634,48        | 6,20       |
|                  |          | Endüstriyel       | 348,05          | 1,32       |
|                  |          | <b>Toplam</b>     | <b>1.982,53</b> | 7,52       |
|                  | Yayılı   | Hayvancılık       | 6.837,6         | 25,92      |
|                  |          | Tarımsal          | 11.353,8        | 43,04      |
|                  |          | Düzensiz Depolama | 149,9           | 0,57       |
|                  |          | Arazi Kullanımı   | 6058,6          | 22,95      |
|                  |          | <b>Toplam</b>     | <b>24.399,9</b> | <b>100</b> |
|                  | Noktasal | Evsel             | 475,33          | 14,10      |
|                  |          | Endüstriyel       | 17,40           | 0,52       |
|                  |          | <b>Toplam</b>     | <b>492,73</b>   | 14,62      |
| TP               | Yayılı   | Hayvancılık       | 720,3           | 21,38      |
|                  |          | Tarımsal          | 1996,5          | 59,26      |
|                  |          | Düzensiz Depolama | 3,3             | 0,10       |
|                  |          | Arazi Kullanımı   | 156,0           | 4,64       |
|                  |          | <b>Toplam</b>     | <b>2.876,1</b>  | <b>100</b> |

Yeşilırmak Havzası için GMTY hesaplama modeli sonuçları değerlendirildiğinde mevcut durumda kirlilik oluşumunda mambaidan gelen kirlilik yüklerinin ve yayılı kaynakların oranının noktasal kirlilik kaynaklarına oranla çok daha fazla olduğu saptanmıştır (Tablo 6.10).

Tablo 6.10. Yeşilırmak Havzasında Kirlilik Kaynakları Bazında Yük Hesaplama Tablosu

|                                    |                            | <b>TN</b>     | <b>TP</b>     |
|------------------------------------|----------------------------|---------------|---------------|
| Kaynak                             | Debi (m <sup>3</sup> /gün) | Yük (ton/yıl) | Yük (ton/yıl) |
| GMTY ( $C_{mansap} * Q_{mansap}$ ) | 10.454.400                 | 43.882,34     | 763,17        |
| Güvenlik Payı                      |                            | 4.388,23      | 76,31         |
| İzin Verilen (GMTY- Güvenlik Payı) |                            | 39.494,11     | 686,85        |
| Noktasal Yük Toplamı               | 287.747,46                 | 1.982,53      | 492,73        |
| Evsel Atıksu                       | 240.070,06                 | 1.634,48      | 475,33        |
| Endüstriyel Atıksu                 | 47.677,4                   | 348,05        | 17,40         |
| Membaidan Gelen                    | 10.166.652                 | 42.674,52     | 742,16        |
| Yayılı Kaynaklar Toplamı           | --                         | 24.399,9      | 2.876,1       |
| Mevcut Toplam                      | 10.454.400                 | 69.056,95     | 4.110,99      |
| Giderim İhtiyacı                   |                            | 29.562,84     | 3.424,14      |
| % Giderim İhtiyacı                 |                            | <b>%42,8</b>  | <b>%83,3</b>  |

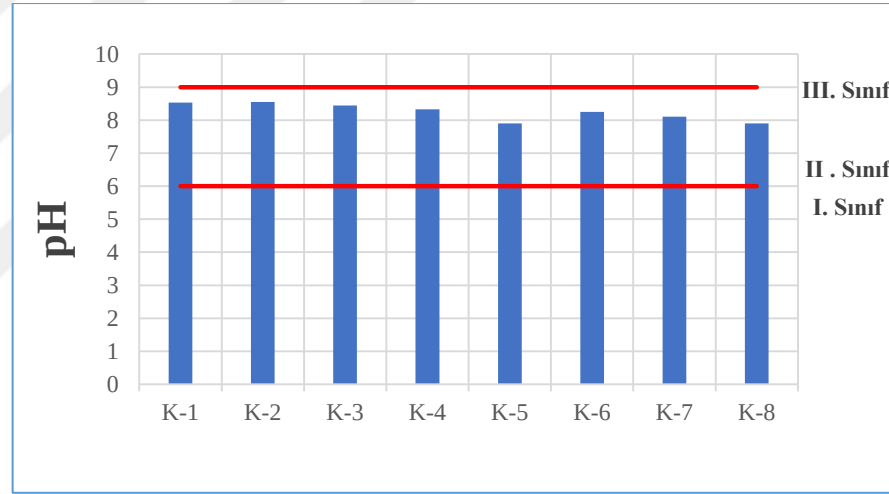
Nehir Havzasının özümseyebileceği (izin verilen) yük havzada oluşan toplam azot parametresinin yaklaşık %57'sine tekabül ederken bu oran toplam fosfor parametresinde daha yüksek olup yaklaşık %16 oranındadır. Bu durum her iki yük oluşumunu azaltıcı senaryolar oluşturmasını gerektirmektedir. Toplam fosfor yükü, toplam azot yüküne oranla yaklaşık iki kat fazla giderim ihtiyacına gerek duymaktadır. Her iki besin elementi yayılı kaynaklardan dolayı havzaya ciddi baskı oluşturmaktadır. Tarımsal faaliyetler ve hayvancılık faaliyetleri bu hususta temel faktördür. Özellikle toplam fosfor yükünün nehrin özümseyebileceği oranın üzerinde olması fosfor kaynaklı uygulamaları azaltıcı bazı önlemler almayı gerekli kılmaktadır. Yeşilırmak Havzası coğrafi özellikleri dolayısıyla eğimli arazi yapısına sahip olması, tarımsal faaliyetler sonucu kullanılan gübrelerin yağışlı dönemlerde bitkinin/toprağın bünyesine almadığı kısmın kolayca yüzey sularına karışmasına neden olmaktadır. Bu durum yayılı kaynaklı besin elementlerinin yüzey sularındaki konsantrasyonlarının artmasına yol açmaktadır. Bu nedenle havza içinde sıkı tedbirler alınarak kirliliğin kaynağında önlenmesi yoluna gidilmesi fayda sağlayacaktır.

### 6.3. Havzalardaki Su Kalitesinin Genel Durumu

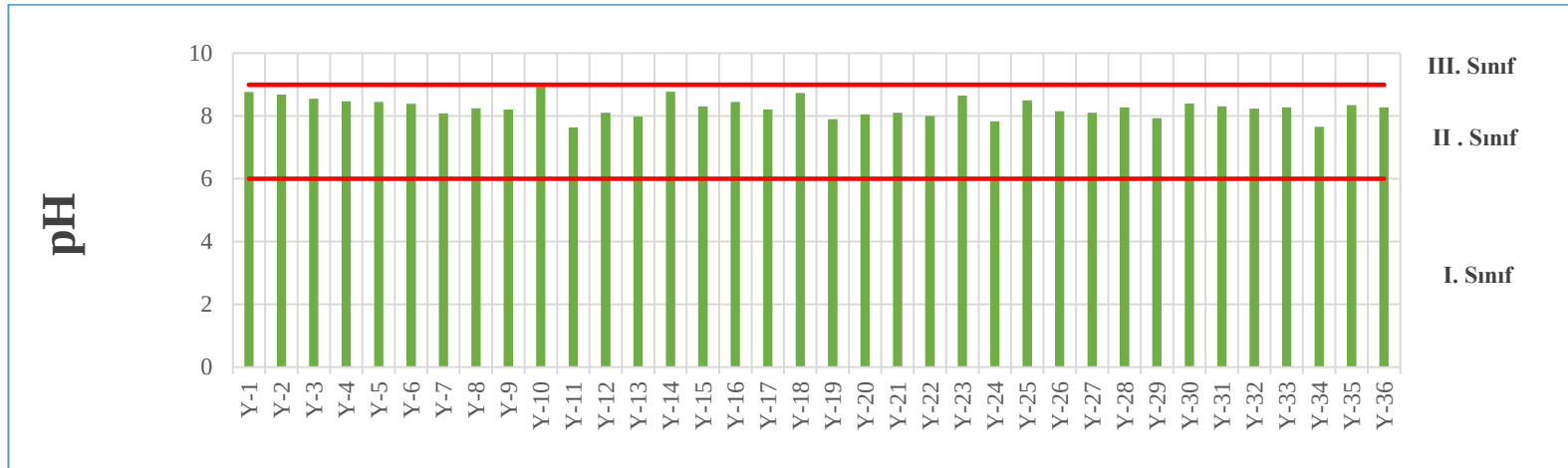
Bir nehrin su kalitesi, çeşitli fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik değişkenlerin düzenli olarak izlenmesiyle değerlendirilebilir (Tian et al., 2019). Bu değişkenleri ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından belirlenen su kalitesi kriterleri ile karşılaştırarak su kalitesinin genel durumu tahmin edilebilmektedir.

Su kaynaklarının kalitesi; kentsel atıksu deşarjları, endüstriyel faaliyetler kaynaklı deşarjlar, tarımsal faaliyetlerin sebep olduğu akışlar ve atıksu arıtma tesislerinin deşarjlarının yol açtığı kirlilikler sebebiyle değişmektedir. Her bir su kütlesi aynı tür kirletici kaynaktan etkilenmemekte bu sebeple su kütlelerinin maruz bırakıldığı kirlilik kaynak türlerine göre izleme noktalarındaki kirliliği temsil eden parametrelerde değişkenlik göstermektedir.

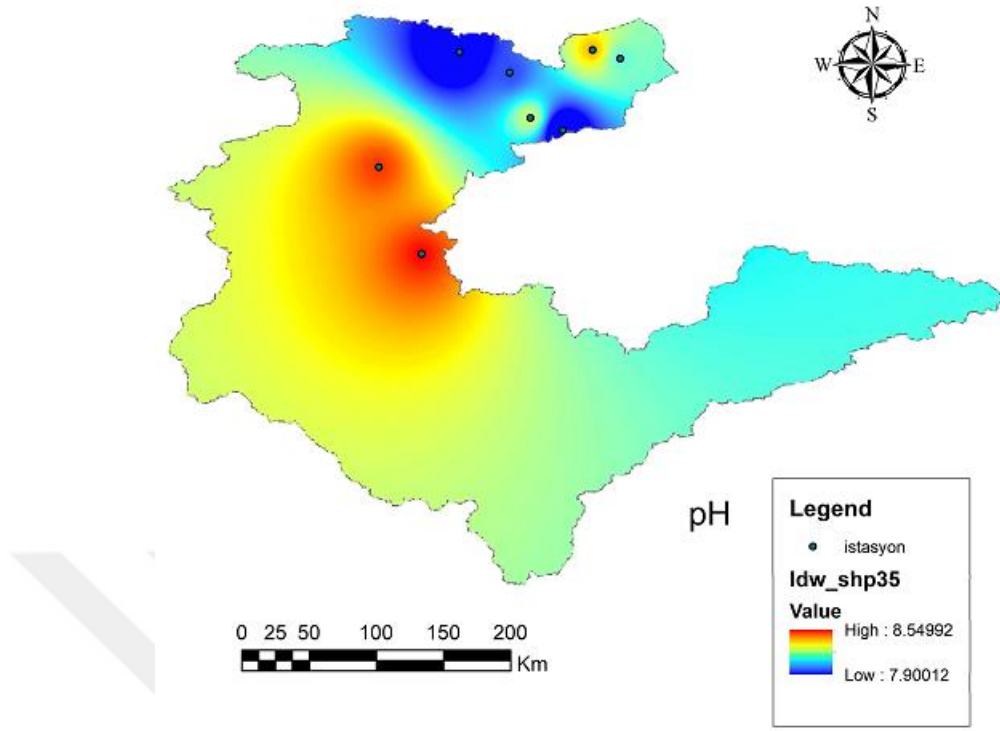
Bu çalışmada her iki nehir havzasında su kalite sınıflarındaki değişimlerin izlendiği 26 parametreden 13'ü grafiklendirilerek su kalitesinin genel durumları özetlenmiştir. İstikrarlı ölçümlerin yapılması ve parametrelerden bir çoğunun her iki nehir havzasında da baskın parametre olması sebebiyle temsili parametre seçilmiştir. Kızılırmak ve Yeşilirmak Havzalarının yıllık ortalama su kalite izleme verilerine göre ilgili yönetmelikler referans alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.



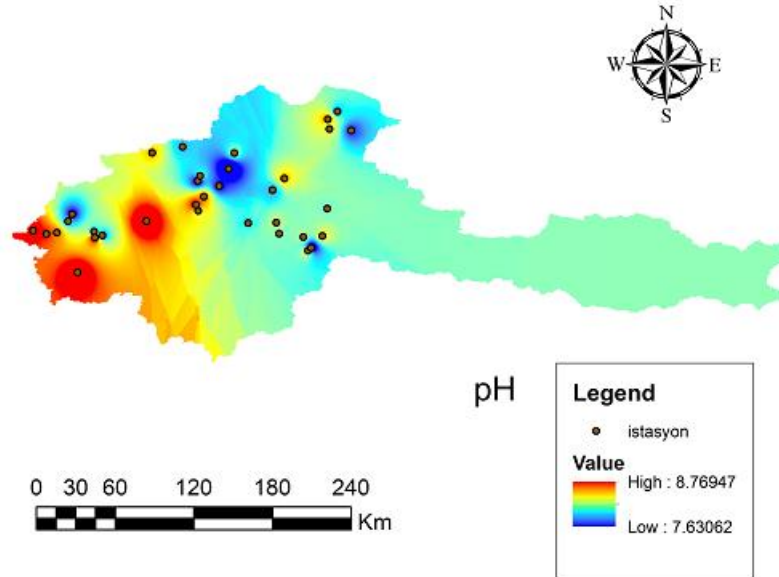
Şekil 6.5. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama pH Seviyeleri



Şekil 6.6. Yeşilırmak Havzası Yıllık Ortalama pH Seviyeleri



Şekil 6.7. Kızılırmak Havzasında pH Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

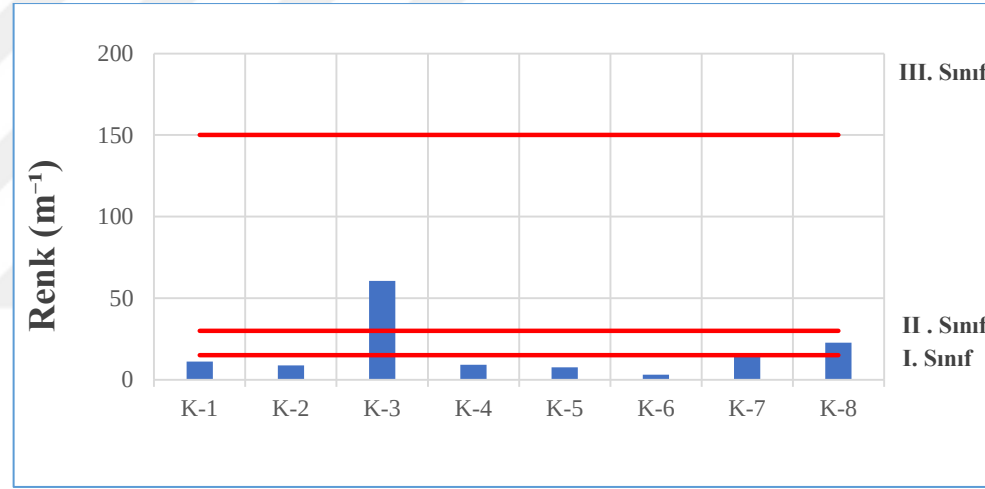


Şekil 6.8. Yeşilirmak Havzasında pH Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

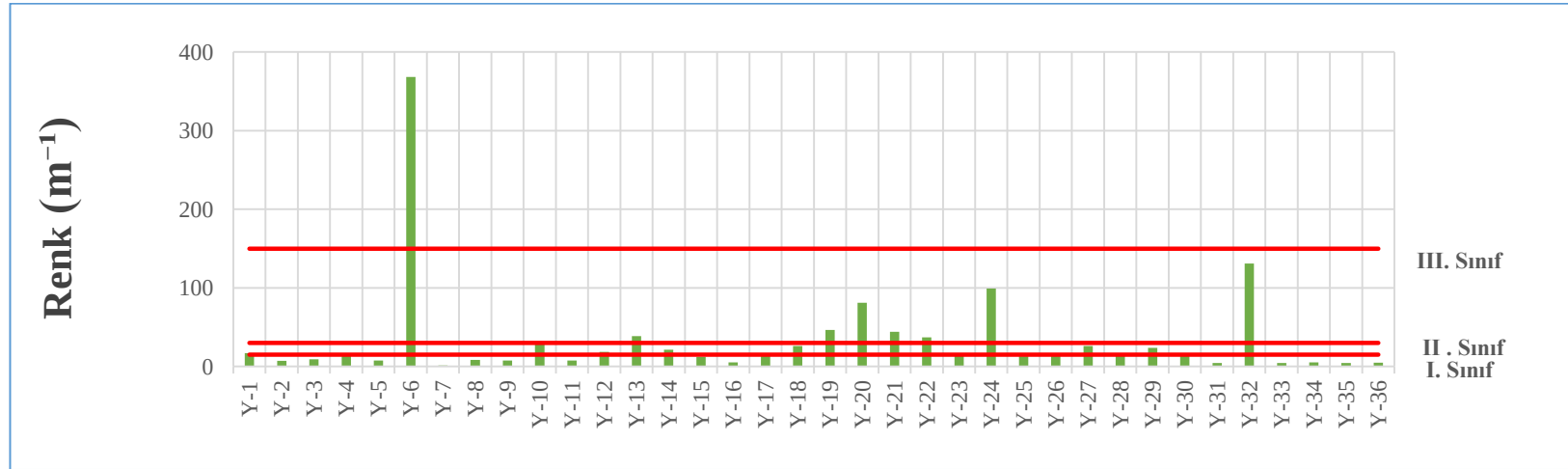
Kızılırmak Havzasında çalışma sahasında yıllık ortalama pH seviyeleri Şekil 6.5'te, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.7'de görülmektedir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğine göre pH değer aralığı üç kalite sınıfı için de 6-9 aralığı olarak verilmektedir. İstasyonlardaki pH değerleri 7,90-8,55 değer aralığında değişim gösterirken, standart sapma 0,26 ve varyans değeri 0,068 olarak hesaplanmıştır. Tüm istasyonların ortalaması ise 8,25 olarak kaydedilmiştir. En yüksek pH değerinin K-2 nolu (Budaközü Çayı Sungurlu Barajı Aks Yeri) istasyonda (8,55), en düşük pH değerinin K-5 (Bakırçay Barajı Aks Yeri) ve K-8 (Gökırmak-Boyabat Girişi) nolu istasyonlarda olduğu saptanmıştır. Mevzuatta verilen su kalite sınıfı değer aralığının dışında hiçbir istasyonda değer ölçüm sonucu elde edilmemiştir.

Yeşilırmak Havzasında çalışma alanında yıllık ortalama pH seviyeleri Şekil 6.6'da, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.8'de görülmektedir. İstasyonlardaki pH değerleri 7,63-8,97 değer aralığında değişim gösterirken, standart sapma 0,31 ve varyans değeri 0,096 olarak hesaplanmıştır. Tüm istasyonların ortalaması ise 8,28 olarak kaydedilmiştir. En yüksek pH değerinin Y-10 nolu (Camiboğazı Deresi Gümüşhacıköy Göleti) istasyonda (8,97), en düşük pH değerinin Y-34 nolu (Behzat Deresi-Yeşilırmak Öncesi (Tokat Girişi)) istasyonda (7,65) olduğu belirlenmiştir. Mevzuatta verilen su kalite sınıfı değer aralığının dışında hiçbir istasyonda değer ölçüm sonucu elde edilmemiştir.

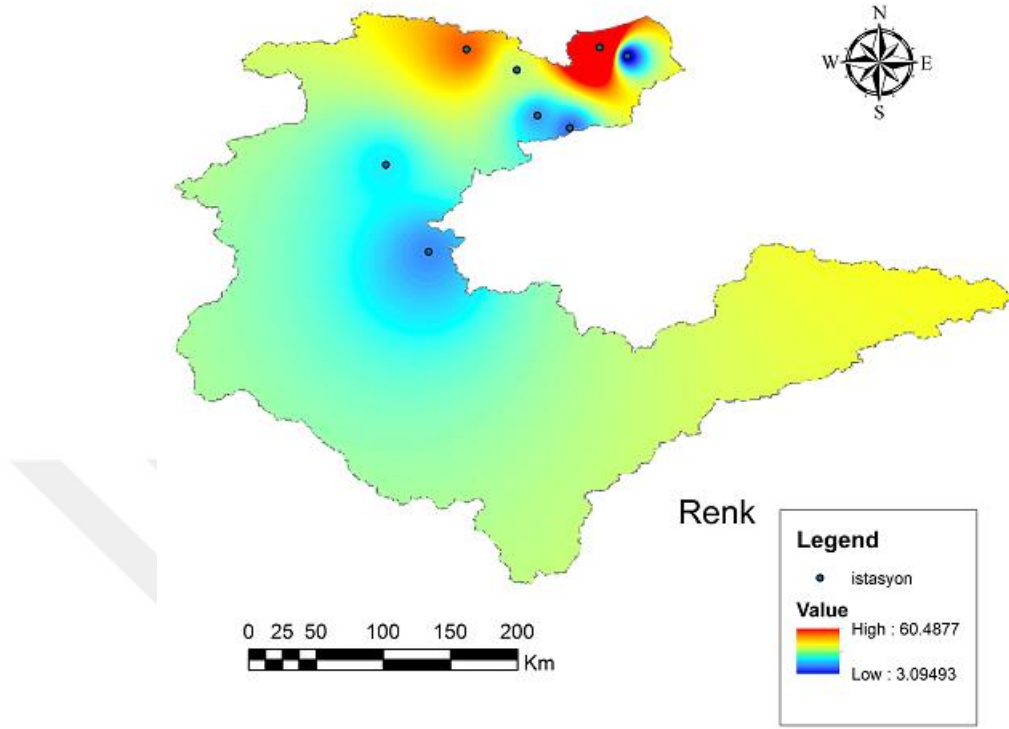
pH, bir su çözeltisinin asitlik derecesinin ölçüsüdür. pH ölçeği 0 ila 14 arasında değişmektedir. Ölçek doğrusal değil, logaritmiktir. pH değeri 7 olan saf suyun nötr olduğu bilinmektedir. pH değeri 7,0'ın altında olan su asidik olarak kabul edilirken, pH değeri 7,0'dan yüksek olan su bazik veya alkali olarak kabul edilmektedir (Gorde & Jadhav, 2013). Her iki çalışma havzasında yıllık ortalama pH değerlerine bakıldığında ve yıl boyunca değişimin oranları incelendiğinde suyun alkali özellik gösterdiği belirlenmiştir. Bölgenin karakteristik özelliklerini de gözetilerek pH ölçüm değerleri değerlendirildiğinde literatürde yapılan çalışmalarla paralellik gösterdiği görülmektedir.



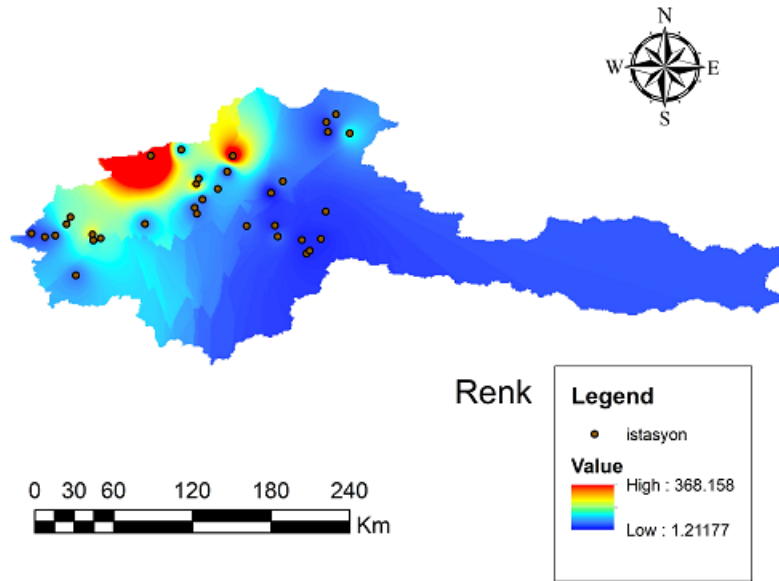
Şekil 6.9. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama Renk ( $m^{-1}$ ) Seviyeleri



Şekil 6.10. Yeşilirmak Havzası Yıllık Ortalama Renk ( $m^{-1}$ ) Seviyeleri



Şekil 6.11. Kızılırmak Havzasında Renk Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

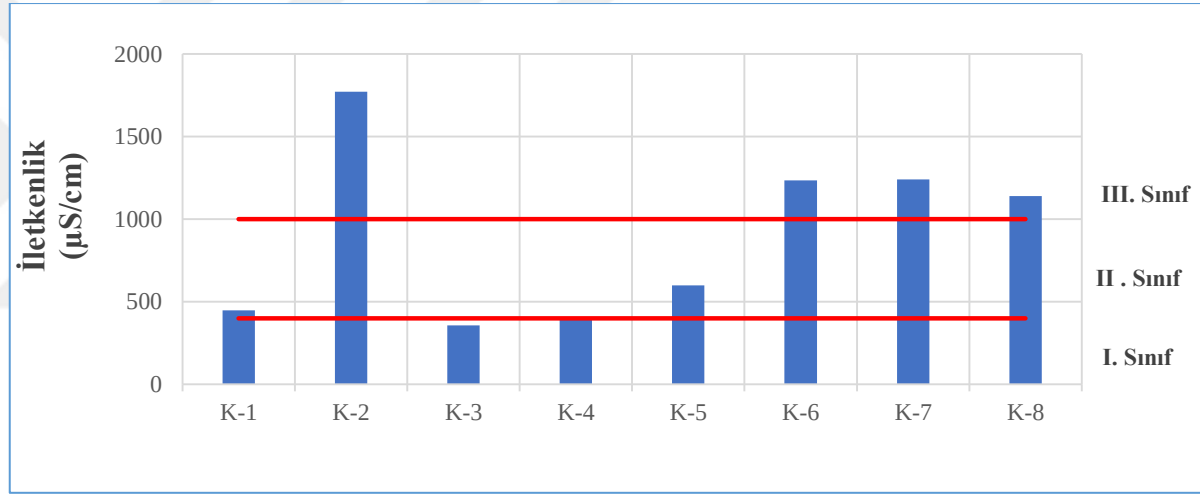


Şekil 6.12. Yeşilırmak Havzasında Renk Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

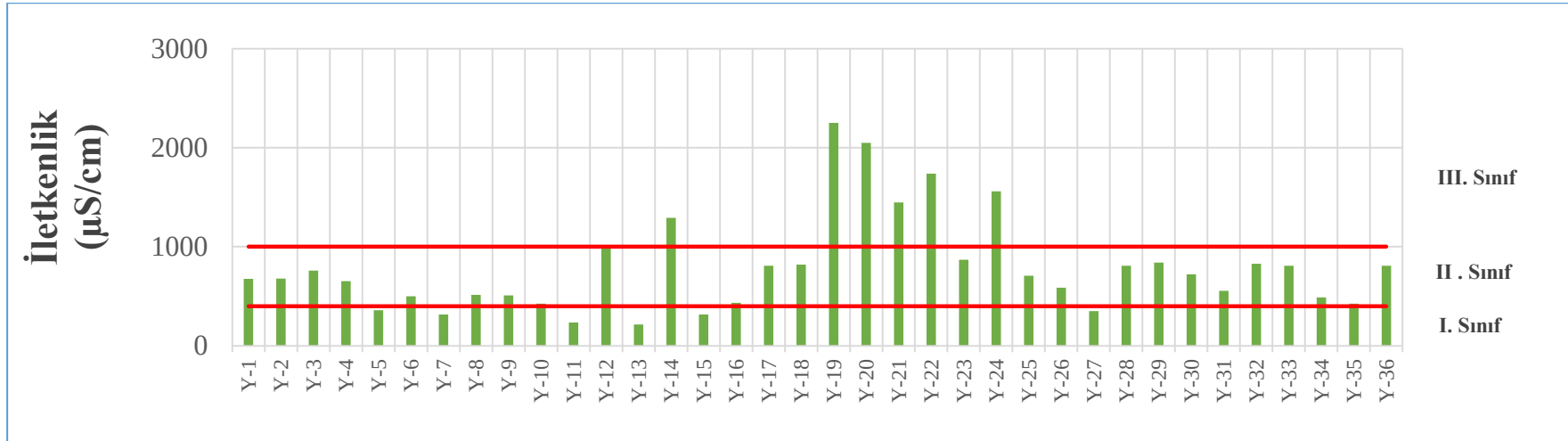
Kızılırmak Havzası yıllık ortalama renk parametresi ölçüm seviyeleri Şekil 6.9'da, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.11'de görülmektedir. İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik'e göre renk parametresi üç su kalite kategorisi için 15-150 Pt/Co değer aralığındadır. Çalışma alanında yer alan istasyonlardaki renk ölçüm parametresine ait ölçüm değerleri 3,0-60,58 Pt/Co değer aralığındadır, standart sapma değeri 18,43 ve varyans değeri 339,82 olarak hesaplanmıştır. En yüksek renk ölçüm değeri K-3 nolu (Taşkelik Çayı-Alaçam Taşkelik Göleti Aks Yeri) istasyon, en düşük renk ölçüm değeri K-6 nolu (Kızılırmak-Derbent Barajı Çıkışı) istasyonda tespit edilmiştir. Çalışma havzasında renk parametresi bazında su kalite sınıfları değerlendirildiğinde 5 istasyon I. sınıf, 2 istasyon II. sınıf ve 1 istasyon ise III. sınıf kategorisinde yer almaktadır. Ortalama renk değerinin 17,33 Pt/Co olması nehir havzasında yoğun olarak I.sınıf su kalite derecesinin hakim olduğunu göstermektedir.

Yeşilirmak Havzası çalışma alanında yıllık ortalama renk parametresi ölçüm değerleri Şekil 6.10'da, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.12'de görülmektedir. İstasyonlardaki renk parametresi ölçüm değerleri 1,20-368,50 Pt/Co arasında değişirken, standart sapma 63,73 ve varyans değeri 4062,07 olarak hesaplanmıştır. En yüksek renk ölçümü Y-6 nolu (Yeni Merzifon Barajı Aks Yeri) istasyon, en düşük renk ölçümü ise Y-7 nolu (Tatlıpınar Deresi-Taşova Tatlıpınar Göleti Aks Yeri) istasyonda yapılmıştır. Çalışma havzasında renk parametresi bazında su kalite sınıfları değerlendirildiğinde 18 istasyon I. sınıf su kalitesi sınıfında, 17 istasyon II. sınıf su kalitesi sınıfında ve 1 istasyon ise III. sınıf su kalite sınıfında yer almaktadır. Renk ölçüm değerinin en yüksek olduğu istasyon (Yeni Merzifon Barajı Aks Yeri) Tersakan Çayı üzerinde yer almakta ve bulunduğu bölgede sanayi faaliyetleri yaygın şekilde yapılmaktadır.

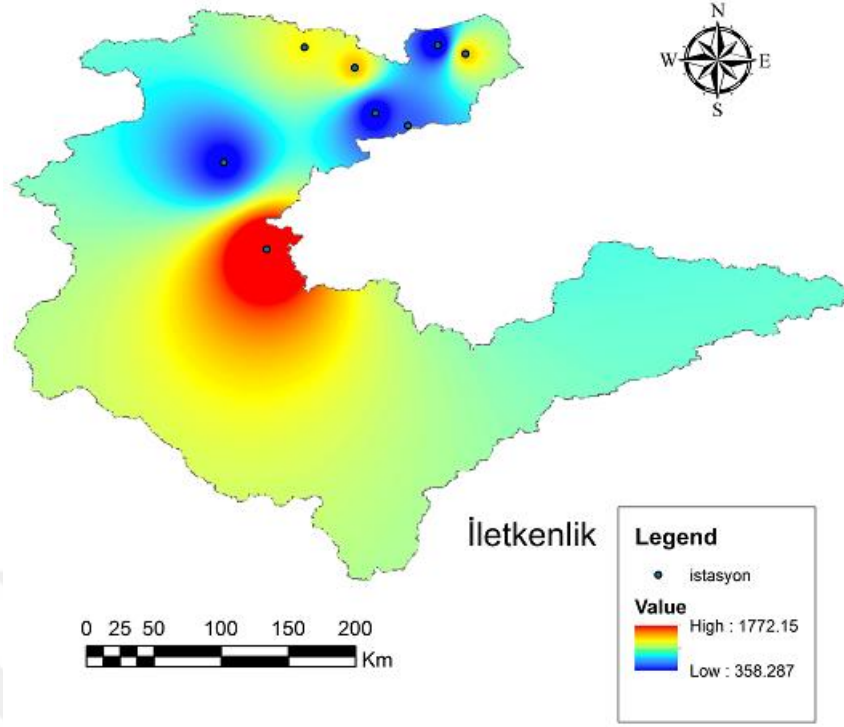
Renk öncelikle doğal organik maddenin, özellikle de sucul hümkik maddenin varlığından kaynaklanır. Asılı partiküller, algler, demir ve mangan oksitler gibi kolloidal boyuttaki partiküller belirgin bir renk oluşturur. Hümkik maddeler ve bu maddelerin neden olduğu renk, estetik nedenlerle ve dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumunda öncü oldukları için sağlık nedenleriyle içilebilir su kaynaklarından uzaklaştırılmaktadır (Omer, 2019). Nehir havzalarında renk ölçüm değerleri organik kirliliğin göstergesidir. İzleme noktalarının çoğunda suyun renk parametresi açısından içme ve/veya kullanım amacına elverişli olduğu tespit edilmiştir.



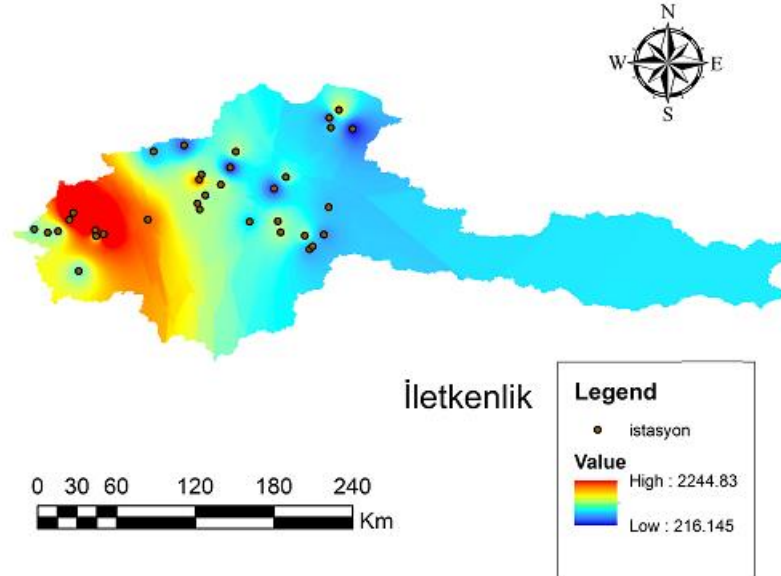
Şekil 6.13. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama İletkenlik (µS/cm) Seviyeleri



Şekil 6.14. Yeşılırmak Havzası Yıllık Ortalama İletkenlik (µS/cm) Seviyeleri



Şekil 6.15. Kızılırmak Havzasında İletkenlik Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

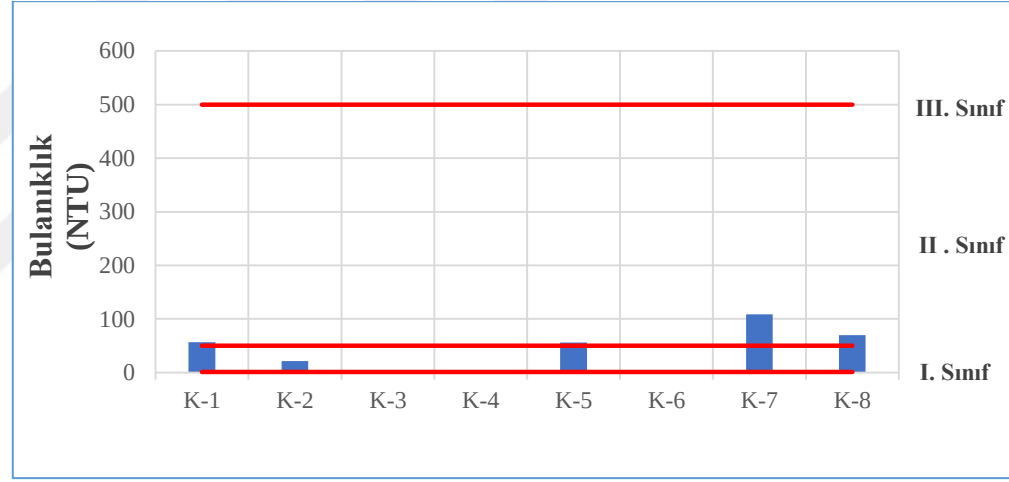


Şekil 6.16. Yeşilırmak Havzasında İletkenlik Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

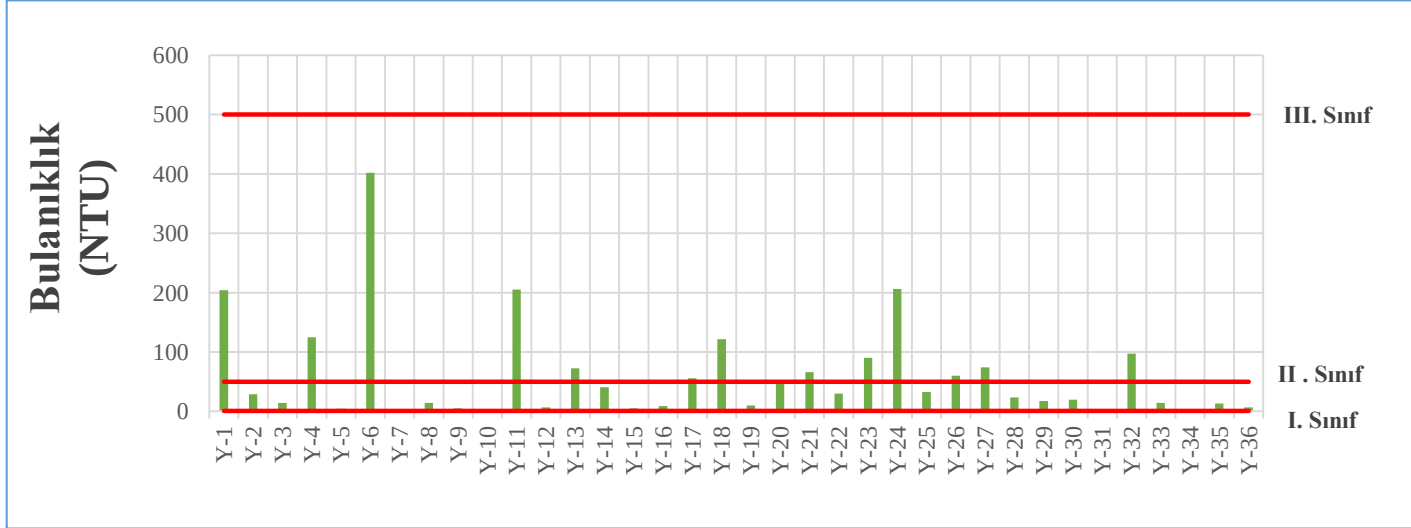
Kızılırmak Havzasında yıllık ortalama iletkenlik parametresi ölçüm değerleri Şekil 6.13'te, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.15'te görülmektedir. YSKY'ye göre iletkenlik için 400-1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında tanımlanan değer aralığı mevcuttur. Ölçüm sonuçlarına bakıldığında iletkenlik parametre değerlerinin 357,0-1.772,50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  değerleri arasında değişim gösterirken, standart sapma değeri 519,95 ve varyans değeri 270.348,55 olarak hesaplanmıştır. En yüksek iletkenlik değeri K-2 nolu (Budaközü Çayı Sungurlu Barajı Aks Yeri) istasyonda, en düşük iletkenlik değeri K-3 nolu (Taşkelik Çayı-Alaçam Taşkelik Göleti Aks Yeri) istasyonda kaydedilmiştir. Yönetmeliğe göre istasyonlarda iletkenlik parametresi bazında su kalite sınıflarına bakıldığında 2 istasyonun Sınıf I, 2 istasyonun Sınıf II ve 4 istasyonun ise Sınıf III kategorisinde olduğu saptanmıştır.

Yeşilırmak Havzasında yıllık ortalama iletkenlik parametresi ölçüm değerleri Şekil 6.14'te, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.16'da görülmektedir. İstasyonlardaki iletkenlik parametresi ölçüm sonuçlarına bakıldığında 215,33-2250,00  $\mu\text{S}/\text{cm}$  değerleri arasında değişim gösterirken, standart sapma 486,93 ve varyans değeri 237102,4 olarak kaydedilmiştir. En yüksek iletkenlik değeri Y-19 nolu (Çorum Deresi-Ahılyas Deresi Öncesi) istasyonda, en düşük iletkenlik değeri Y-13 nolu (Değirmendere-Salıpazarı Barajı Çıkışı) istasyonda ölçülmüştür. İletkenlik parametresi bazında yönetmelikle kıyaslanılırsa; 6 istasyon Sınıf I, 24 istasyon Sınıf II ve 6 istasyonun ise Sınıf III su kalite sınıfında yer aldığı görülmektedir. İletkenlik değerinin en yüksek olduğu istasyonun (Çorum Deresi-Ahılyas Deresi Öncesi) bulunduğu bölgede yer alan sanayi tesislerindeki (kum ocağı, tuğla fabrikası) atıksuların arıtmaya tabi tutulmadan su kaynağına deşarjı kaynaklı artış olduğu tahmin edilmektedir.

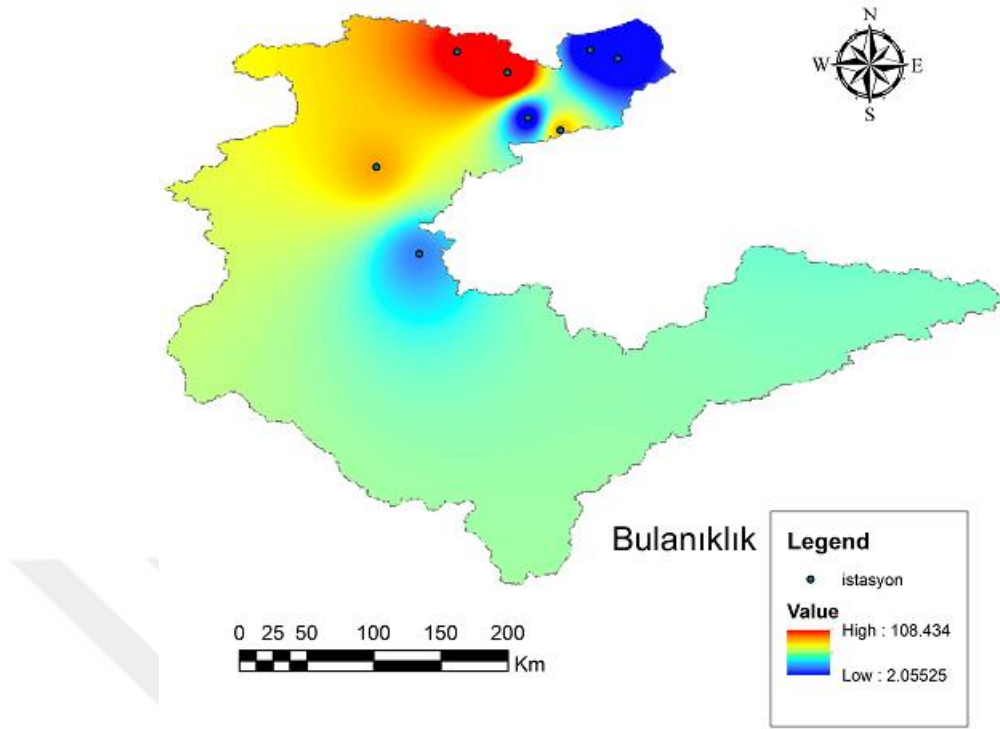
İletkenlik, sulu bir çözeltinin elektrik akımı taşıma kapasitesinin sayısal bir ifadesidir. Bu özellik iyonların varlığına, toplam konsantrasyonlarına, hareketliliklerine, değerliklerine ve bağıl konsantrasyonlarına ve sıvının sıcaklığına bağlıdır (Gorde & Jadhav, 2013). İletkenlik değerinin yüksek olduğu istasyonların genel bir değerlendirmesi yapılırsa havza içerisindeki kaçak yeraltı kuyuları ve bölgede yer alan sanayi tesislerindeki atıksuların arıtmaya tabi tutulmadan su kaynağına deşarjı kaynaklı artış olduğu tahmin edilmektedir.



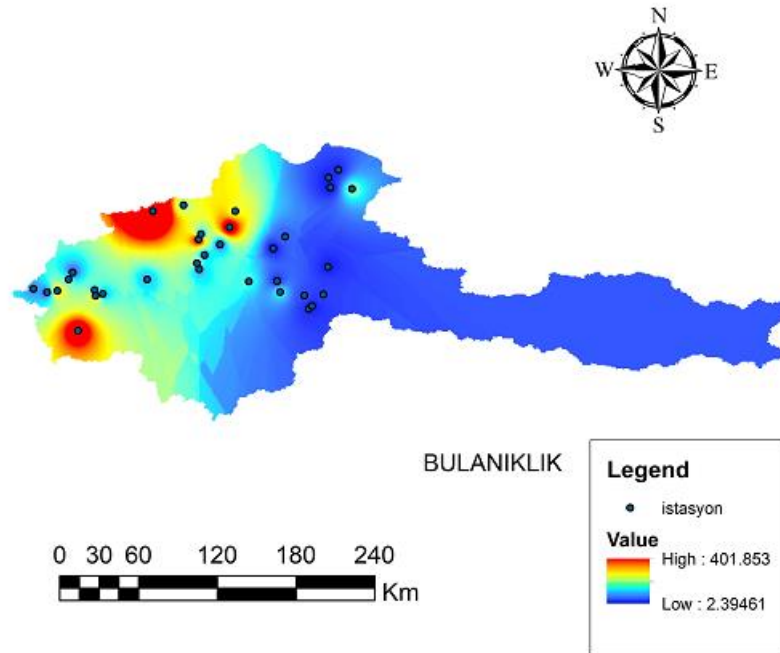
Şekil 6.17. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama Bulanıklık (NTU) Seviyeleri



Şekil 6.18. Yeşilirmak Havzası Yıllık Ortalama Bulanıklık (NTU) Seviyeleri



Şekil 6.19. Kızılırmak Havzasında Bulanıklık Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

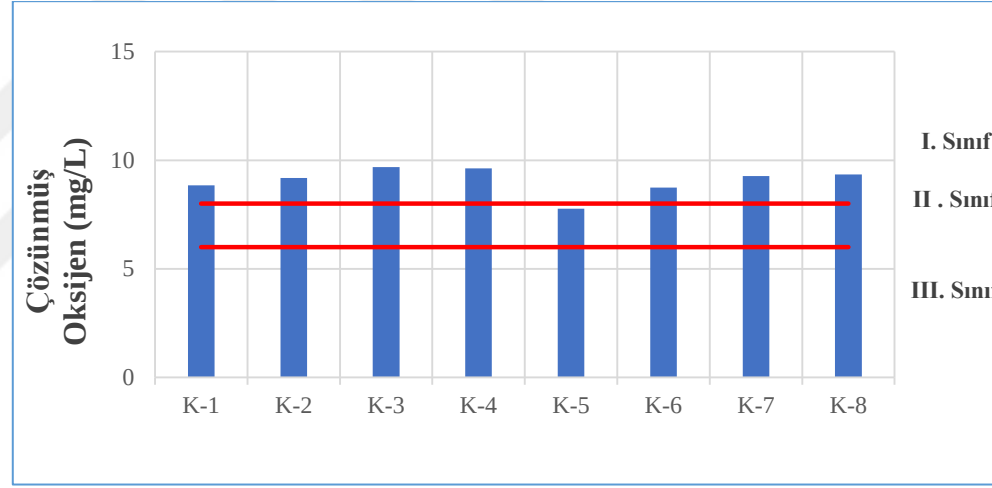


Şekil 6.20. Yeşilirmak Havzasında Bulanıklık Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

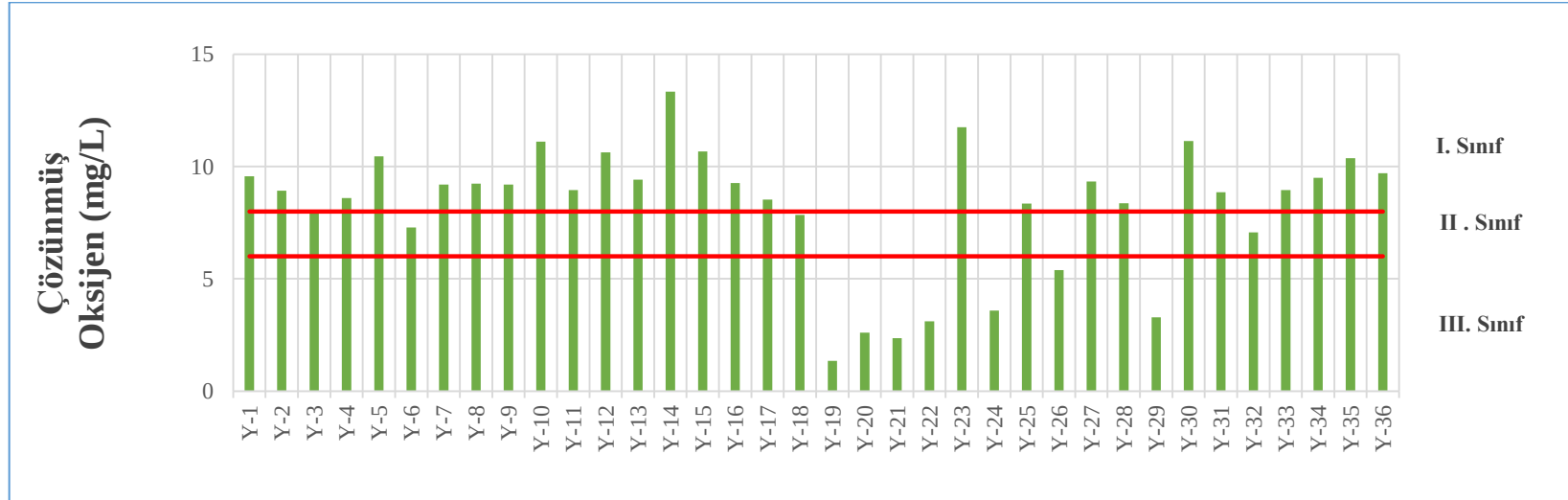
Kızılırmak Havzası yıllık ortalama bulanıklık parametresi ölçüm seviyeleri Şekil 6.17’de, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.19’da görülmektedir. İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik’e göre bulanıklık parametresi üç su kalite kategorisi için 1-500 NTU değer aralığındadır. Çalışma alanında yer alan istasyonlardaki bulanıklık ölçüm parametresine ait değerler 2,03-108,50 NTU değer aralığındadır, standart sapma değeri 38,98 ve varyans değeri 1520,07 olarak hesaplanmıştır. En yüksek bulanıklık ölçüm değeri K-7 nolu (Boyabat Baraj Çıkışı Köprü) istasyon, en düşük bulanıklık ölçüm değeri ise K-3 nolu (Taşkelik Çayı-Alaçam Taşkelik Göleti Aks Yeri) istasyonda tespit edilmiştir. Çalışma havzasında bulanıklık parametresi bazında su kalite sınıfları değerlendirildiğinde 4 istasyon I. sınıf ve 4 istasyon II. sınıf kategorisinde yer almaktadır. Ortalama bulanıklık değerinin 40,03 NTU olması nehir havzasında yoğun olarak I.sınıf su kalite derecesinin hakim olduğunu göstermektedir.

Yeşilirmak Havzası istasyonlardaki yıllık ortalama bulanıklık parametresi ölçüm değerleri Şekil 6.18’de, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.20’de görülmektedir. İstasyonlardaki bulanıklık parametresi ölçüm değerleri 2,35-402,15 NTU arasında değişirken, standart sapma 82,85 ve varyans değeri 6864,78 olarak hesaplanmıştır. En yüksek ölçüm değeri Y-6 nolu (Yeni Merzifon Barajı Aks Yeri) istasyon, en düşük ölçüm değeri ise Y-31 nolu (Yeşilirmak-Suat Uğurlu Baraj Çıkışı) istasyonda tespit edilmiştir. Çalışma havzasında bulanıklık parametresi bazında su kalite sınıfları değerlendirildiğinde 22 istasyon I. sınıf su kalitesi sınıfında ve 14 istasyon II. sınıf su kalitesi sınıfında yer almaktadır. Ortalama bulanıklık değerinin 59,32 NTU olması nehir havzasında bulanıklık parametresi bazında ciddi kirlilik riskinin oluşmadığını göstermektedir.

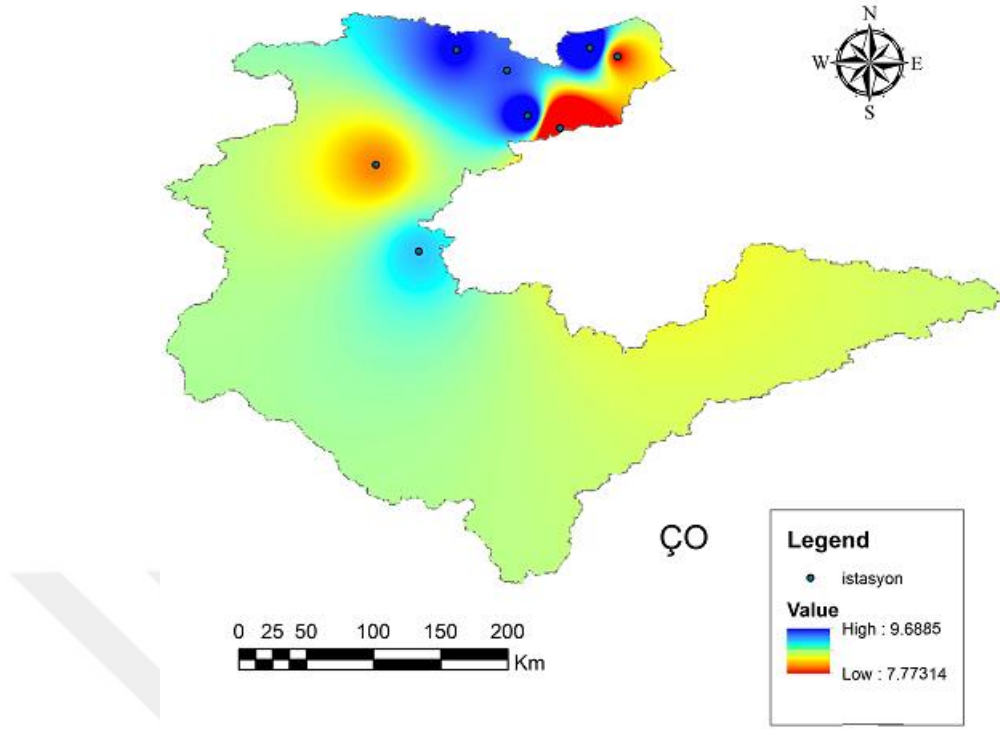
Bulanıklık, asılı parçacıkların varlığı nedeniyle suyun saydamlığını kaybetme derecesini ifade ederken suyun kalitesinin de iyi bir ölçüsü olarak kabul edilmektedir. Yüksek partikül madde konsantrasyonları ışık penetrasyonunu ve verimliliğini etkilemektedir. Partiküller, metaller ve bakteriler başta olmak üzere diğer kirlleticilerin konsantrasyonunu artırır. Bu nedenle bulanıklık, bir su kütlesindeki potansiyel kirliliğin göstergesidir (Jain et al., 2022). Bulanıklık için genel bir değerlendirilme yapılırsa, nehir sularındaki yüksek olan bulanıklık değerlerinin yağmurlarla taşınan topraktan, organik/inorganik maddelerden veya nehre karışan evsel-endüstriyel atıksulardan kaynaklandığı tahmin edilmektedir.



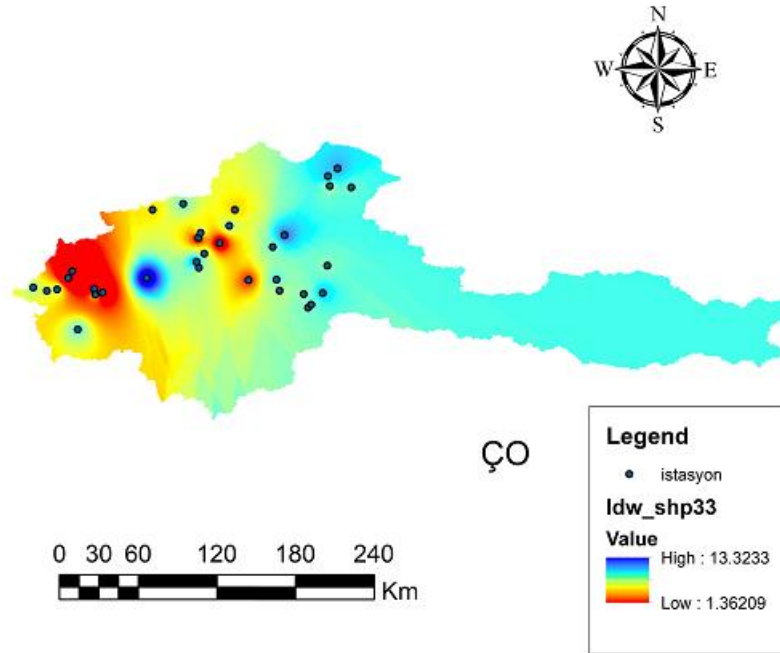
Şekil 6.21. Kızılrınmak Havzası Yıllık Ortalama Çözünmüş Oksijen (mg/L) Seviyeleri



Şekil 6.22. Yeşilrınmak Havzası Yıllık Ortalama Çözünmüş Oksijen (mg/L) Seviyeleri



Şekil 6.23. Kızılırmak Havzasında Çözünmüş Oksijen Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

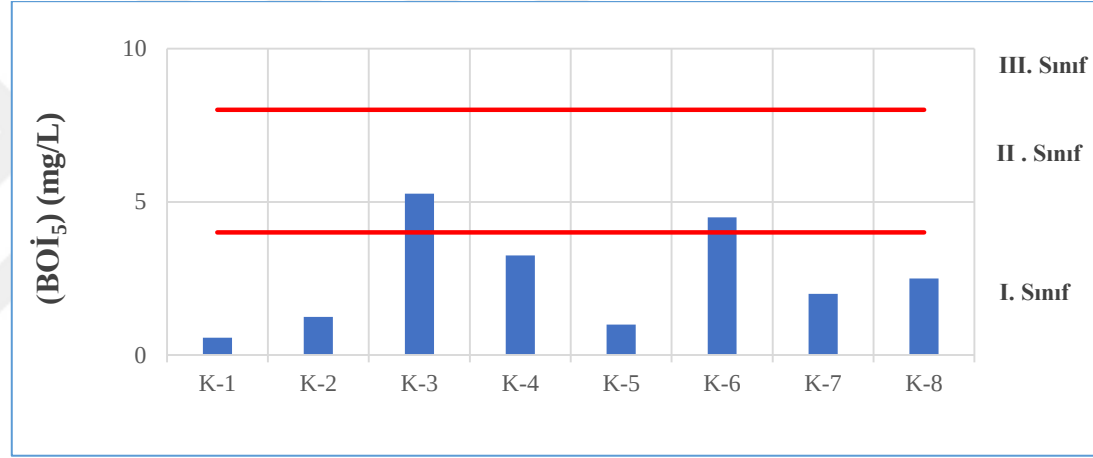


Şekil 6.24. Yeşilırmak Havzasında Çözünmüş Oksijen Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

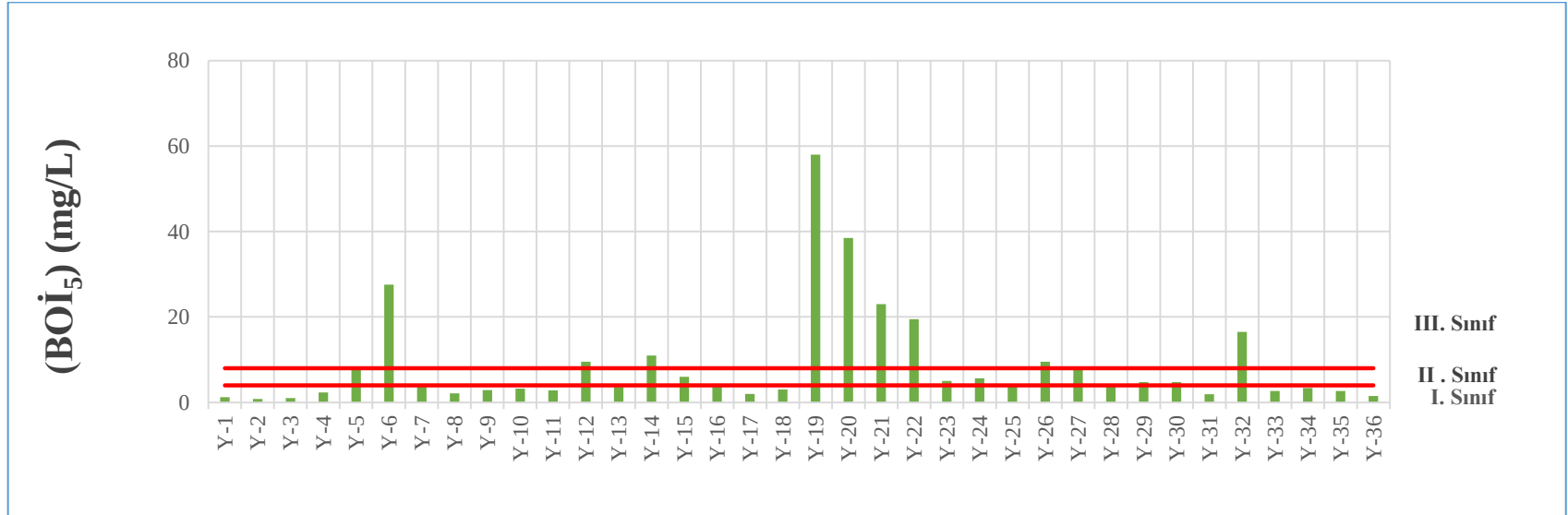
Kızılırmak Havzasında yıllık ortalama çözünmüş oksijen parametresi ölçüm değerleri Şekil 6.21’de, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.23’te görülmektedir. YSKY göre çözünmüş oksijen için 6-8 mg/L arasında tanımlanan değer aralığı mevcuttur. İstasyonlardaki çözünmüş oksijen konsantrasyonları 7,77-9,69 mg/L değerleri arasında değişim gösterirken, standart sapma 0,61 ve varyans değeri 0,38 olarak kaydedilmiştir. En yüksek çözünmüş oksijen değeri K-3 nolu (Taşkelik Çayı-Alaçam Taşkelik Göleti Aks Yeri) istasyonda, en düşük çözünmüş oksijen değeri K-5 nolu (Bakırçay Barajı Aks Yeri) istasyonda ölçülmüştür. Değerler yönetmelikle kıyaslanılırsa; 7 istasyon Sınıf I ve 1 istasyonun ise Sınıf II su kalite sınıfında yer aldığı görülmektedir.

Yeşilırmak Havzasında istasyonlardaki yıllık ortalama çözünmüş oksijen parametresi ölçüm değerleri Şekil 6.22’de, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.24’te görülmektedir. İstasyonlardaki çözünmüş oksijen ölçüm değerlerine bakıldığında 1,35-13,33 mg/L değerleri arasında değişim gösterirken, standart sapma 2,86 ve varyans değeri 8,20 olarak kaydedilmiştir. En yüksek çözünmüş oksijen değeri Y-14 nolu (Çorum Çayı-Seyhoğlu) istasyonda, en düşük çözünmüş oksijen değeri Y-19 nolu (Çorum Deresi-Ahılyas Deresi Öncesi) istasyonda ölçülmüştür. Çözünmüş oksijen değerleri yönetmelikle kıyaslanılırsa; 26 istasyon Sınıf I, 3 istasyon Sınıf II ve 7 istasyonun ise Sınıf III su kalite sınıfında yer aldığı görülmektedir. Çözünmüş oksijen değerinin düşük olduğu istasyonlar değerlendirildiğinde evsel nitelikli atıksular, yörede yapılan hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklı atıkların su kaynaklarına karışmasının sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunu etkilediği tahmin edilmektedir.

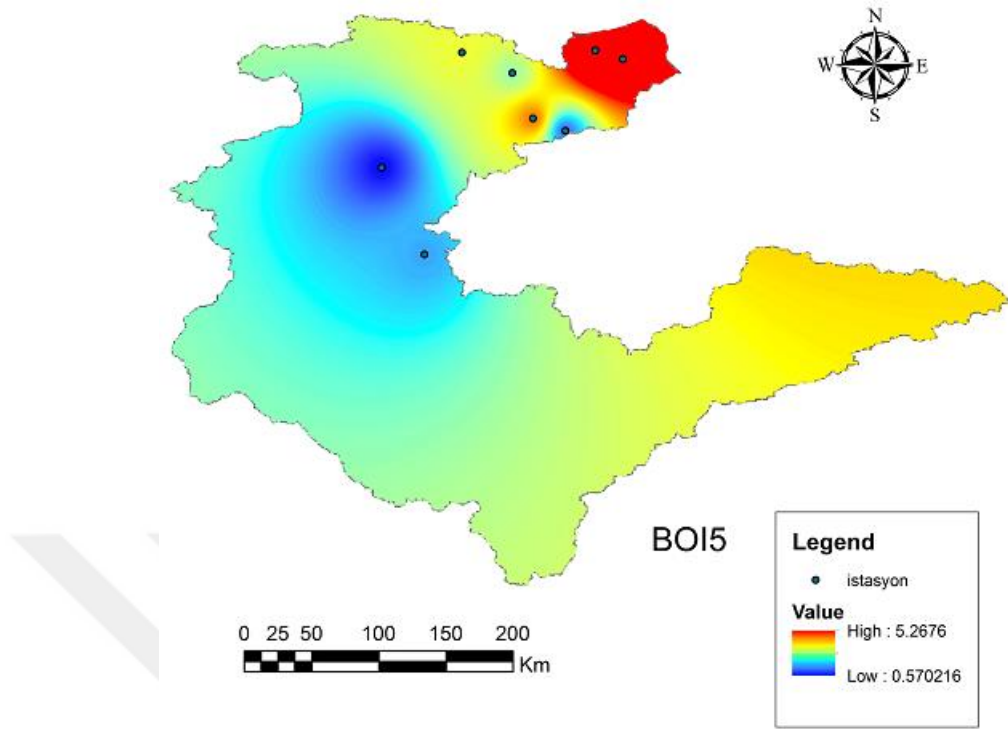
Çözünmüş oksijen (ÇO), sucul yaşam için en önemli su kalitesi göstergelerinden biridir. Suyu atmosferden difüzyon yoluyla, algler ve bitkiler tarafından fotosentezin bir yan ürünü olarak girer. Konsantrasyonu ne kadar yüksekse, su kalitesi o kadar iyidir. Oksijen suda çok az çözünür ve gerçek miktarı basınca, sıcaklığa ve tuzluluğa bağlı olarak değişir (Syed et al., 2023). Su kaynaklarında ÇO’nun azalması kötü kokuya neden olabilir ve yaklaşık 3-5 mg/L’nin altına düştüğünde suda yaşayan organizmaların üreme, beslenme veya hayatta kalma süreçleri bozulmaktadır (Jain et al., 2022). Su kirlenmesi ile ilgili önemli parametrelerden biri olan ÇO, nehir havzalarında birkaç izleme noktası dışında yıl boyunca canlı yaşamı tehdit etmeyecek konsantrasyonlarda seyretmektedir.



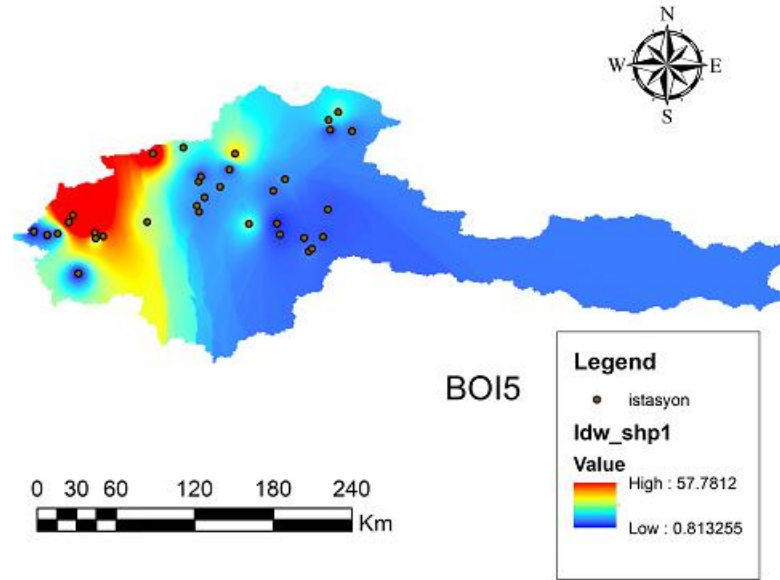
Şekil 6.25. Kızıllırmak Havzası Yıllık Ortalama Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L) Seviyeleri



Şekil 6.26. Yeşilırmak Havzası Yıllık Ortalama Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L) Seviyeleri



Şekil 6.27. Kızılırmak Havzasında BOİ<sub>5</sub> Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

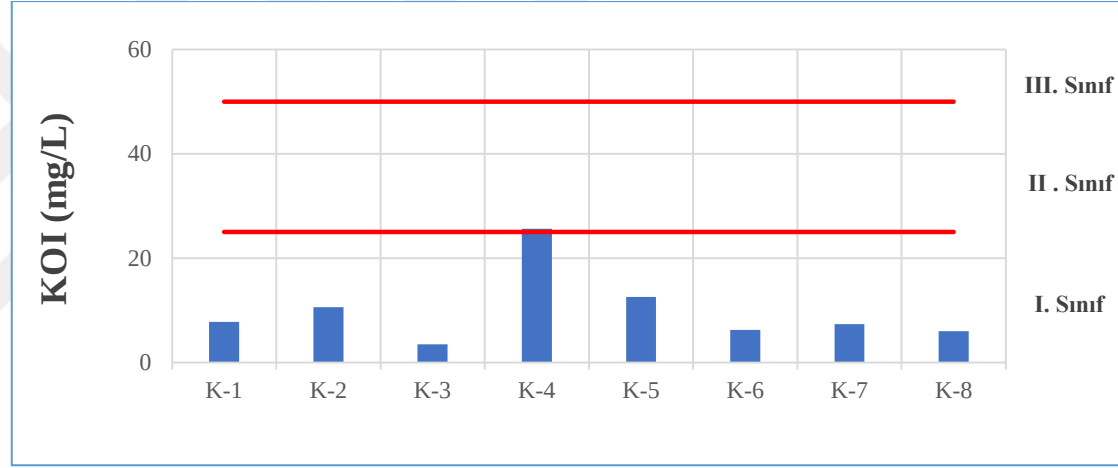


Şekil 6.28. Yeşilırmak Havzasında BOİ<sub>5</sub> Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

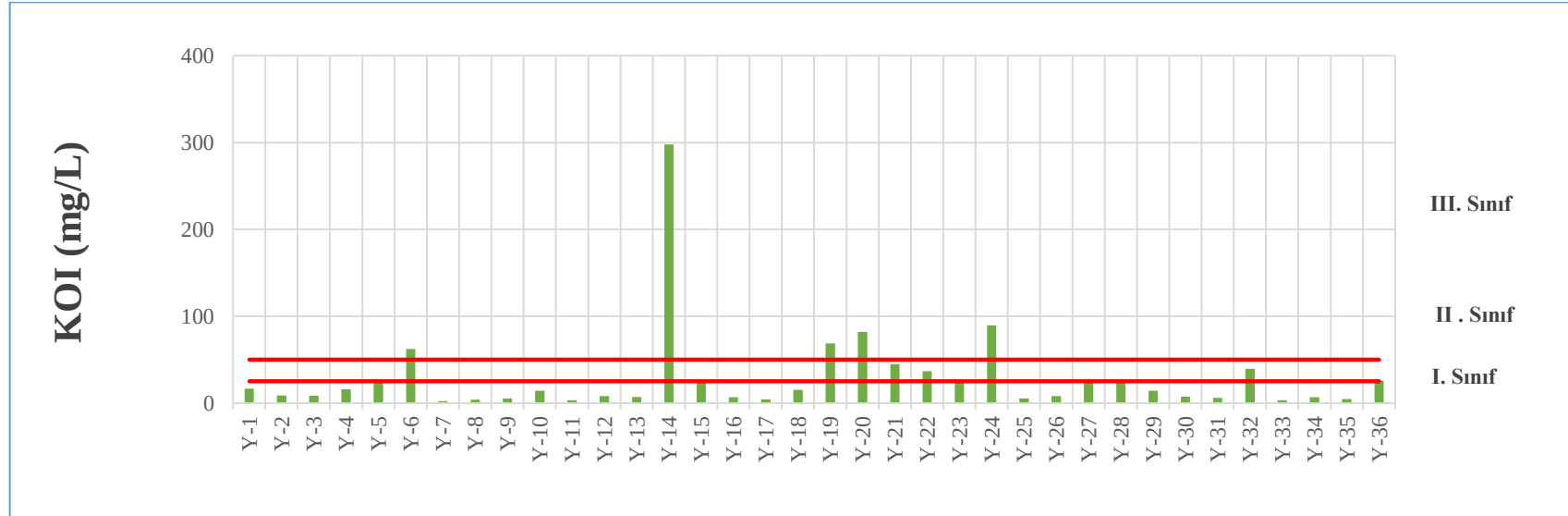
Kızılırmak Havzasında çalışma alanında yer alan istasyonların yıllık ortalama  $BOI_5$  parametresi ölçüm değerleri Şekil 6.25'te, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.27'de görülmektedir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğine göre  $BOI_5$  için 4-8 mg/L arasında tanımlanan değer aralığı mevcuttur. İstasyonlardaki  $BOI_5$  ölçüm değerlerine bakıldığında 0,57-5,27 mg/L değerleri arasında değişim gösterirken, standart sapma 1,69 ve varyans değeri 2,85 olarak kaydedilmiştir. En yüksek  $BOI_5$  değeri K-3 nolu (Taşkelik Çayı-Alaçam Taşkelik Göleti Aks Yeri) istasyonda, en düşük  $BOI_5$  değeri K-1 nolu (Kuzguncuk Deresi Çorum Bayat Kunduzlu Göleti Aksı) istasyonda ölçülmüştür. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı değerleri yönetmelikle kıyaslanılırsa; 6 istasyon Sınıf I ve 2 istasyonun Sınıf II su kalite sınıfında yer aldığı görülmektedir. Ortalama  $BOI_5$  değerinin 2,54 mg/L olması nehir havzasında yoğun olarak Sınıf I su kalite derecesinin hakim olduğunu göstermektedir.

Yeşilirmak Havzasında istasyonlardaki yıllık ortalama  $BOI_5$  parametresi ölçüm değerleri Şekil 6.26'da, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.28'de görülmektedir. İstasyonlardaki  $BOI_5$  ölçüm değerlerine bakıldığında 0,8-58,00 mg/L değerleri arasında değişim gösterirken, standart sapma 11,80 ve varyans değeri 139,39 olarak kaydedilmiştir. En yüksek  $BOI_5$  değeri Y-19 nolu (Çorum Deresi-Ahılyas Deresi Öncesi) istasyonda, en düşük  $BOI_5$  değeri Y-2 nolu (Ahılyas Deresi-Yenihayat Baraj Girişi) istasyonda ölçülmüştür. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı değerleri yönetmelikle kıyaslanılırsa; 20 istasyon Sınıf I, 6 istasyon Sınıf II ve 10 istasyonun ise Sınıf III su kalite sınıfında yer aldığı görülmektedir. Ortalama  $BOI_5$  değerinin 8,57 mg/L olması nehir havzasında yoğun olarak Sınıf 3 su kalite derecesinin hakim olduğunu göstermektedir.

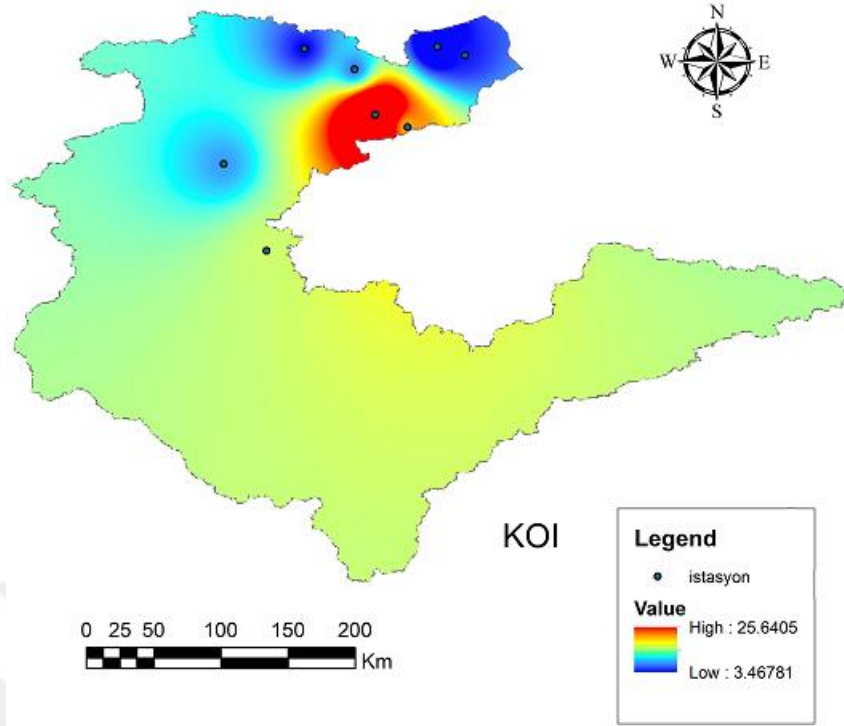
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı ( $BOI$ ), bakterilerin organik maddeleri ayrıştırırken aerobik koşullar altında tüketecekleri oksijen miktarının bir ölçüsüdür (Gholizadeh et al., 2016).  $BOI$ , belirli bir zaman aralığında belirli sıcaklıkta bir su numunesindeki organik maddenin metabolize edilmesi için mikroorganizma tarafından kullanılan çözünmüş oksijeni belirlemek için uygulanan ampirik bir yöntemdir. Suda ne kadar fazla organik madde varsa  $BOI$  değeri de o kadar fazla olur (Jain et al., 2022).  $BOI_5$  değerinin yüksek olduğu istasyonlar değerlendirildiğinde özellikle evsel nitelikli atıksuların biyokimyasal oksijen ihtiyacındaki konsantrasyon değişimini etkilediği tahmin edilmektedir.



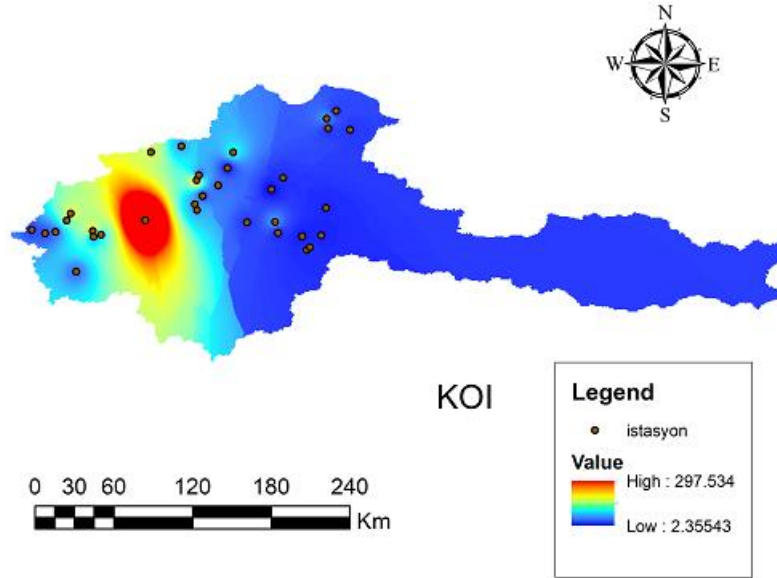
Şekil 6.29. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L) Seviyeleri



Şekil 6.30. Yeşilırmak Havzası Yıllık Ortalama Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L) Seviyeleri



Şekil 6.31. Kızılırmak Havzasında KOİ Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

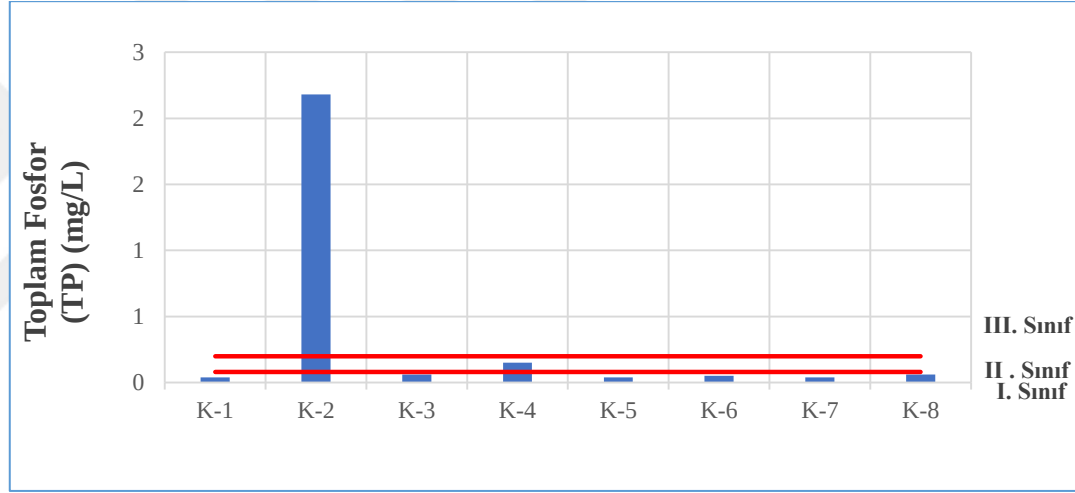


Şekil 6.32. Yeşilırmak Havzasında KOİ Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

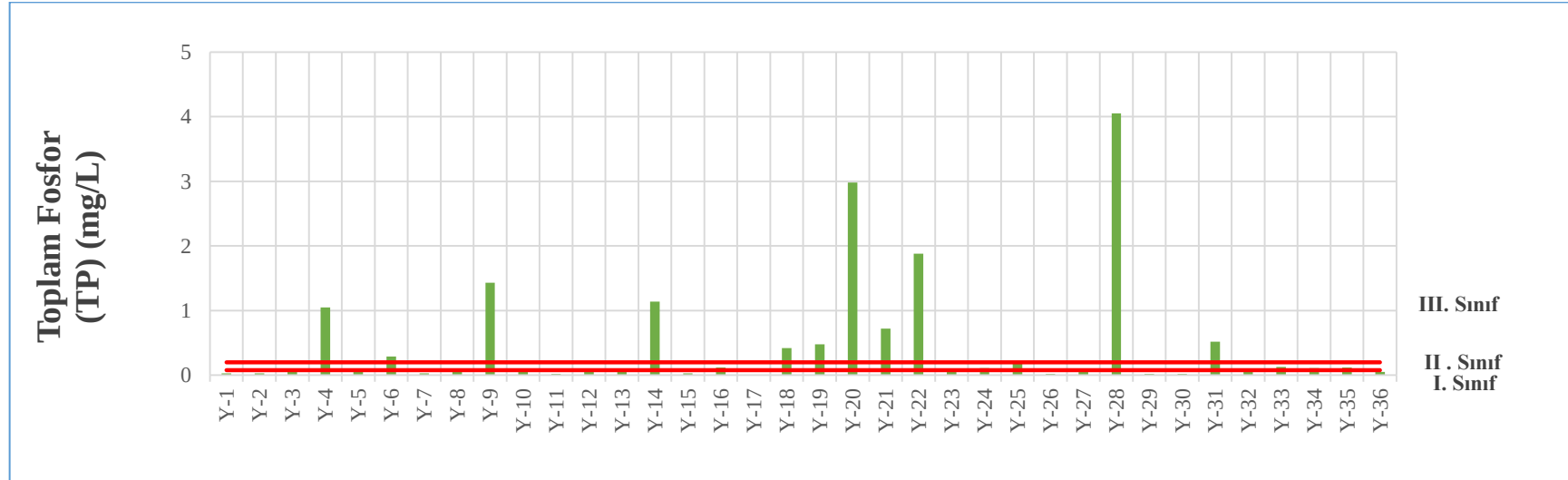
Kızılırmak Havzasında çalışma sahasındaki yıllık ortalama KOİ parametresi ölçüm değerleri Şekil 6.29'da, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.31'de görülmektedir. YSKY göre KOİ için 25-50 mg/L arasında tanımlanan değer aralığı mevcuttur. İstasyonlardaki KOİ ölçüm değerleri irdelendiğinde 3,46-25,66 mg/L arasında değişen aralıkta saptanmış, standart sapma 6,94 ve varyans değeri 48,17 olarak hesaplanmıştır. En yüksek değer K-4 nolu (Köyiçi Deresi Vezirköprü Soğucak Göleti) istasyonda, en düşük değer ise K-3 nolu (Taşkelik Çayı-Alaçam Taşkelik Göleti Aks Yeri) istasyonda ölçülmüştür. Su kalite sınıflandırması değerlendirildiğinde tüm istasyonların I. sınıf su kategorisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Yeşilırmak Havzasında istasyonlardaki yıllık ortalama KOİ parametresi ölçüm değerleri Şekil 6.30'da, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.32'de görülmektedir. İstasyonlardaki KOİ ölçüm değerlerine bakıldığında 2,35-297,80 mg/L değerleri arasında değişim gösterirken, standart sapma 51,29 ve varyans değeri 2631,16 olarak kaydedilmiştir. En yüksek değer Y-14 nolu (Çorum Çayı-Seyhoğlu) istasyonda, en düşük değer Y-7 nolu (Tatlıpınar Deresi-Taşova Tatlıpınar Göleti Aks Yeri) istasyonda ölçüldüğü kaydedilmiştir. KOİ değerleri yönetmelikle kıyaslanılırsa; 22 istasyon Sınıf I, 9 istasyon Sınıf II ve 5 istasyonun ise Sınıf III su kalite sınıfında yer aldığı görülmektedir. İzleme noktalarının çoğunda KOİ parametresinin çevresel risk teşkil etmeyecek düzeylerde olduğu görülmektedir.

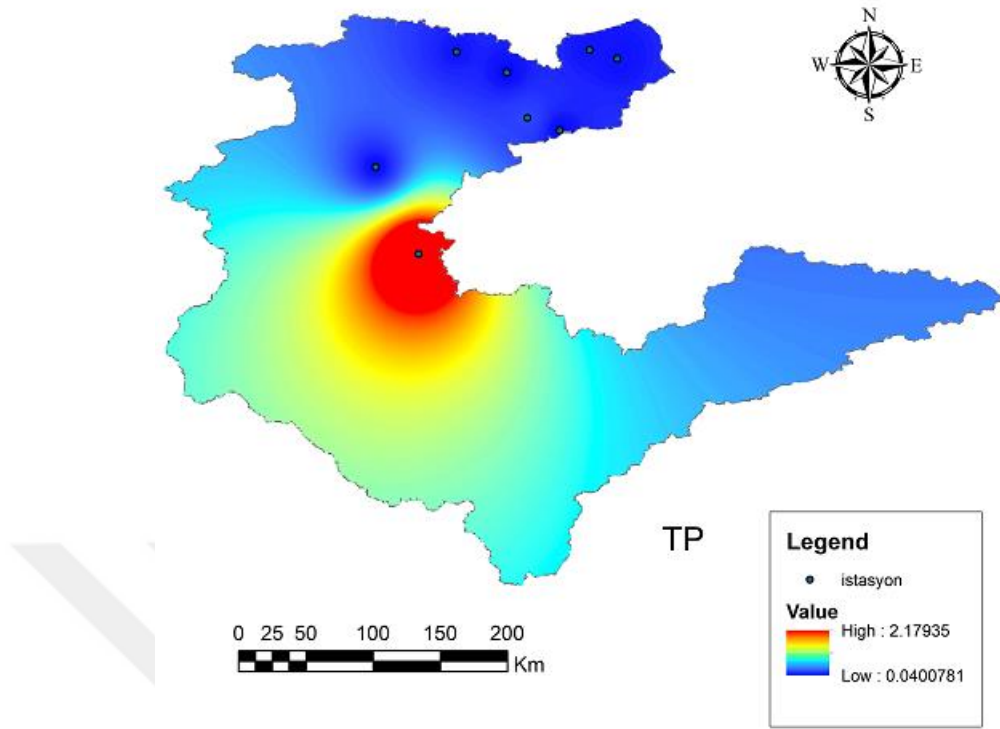
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), sudaki organik maddelerin güçlü kimyasal oksidan kullanılarak oksitlenmesi için gerekli oksijen miktarı olarak tanımlanır. KOİ değerleri, arıtma tesislerinin verimliliği ve ayrıca endüstrilerden salınan deşarj miktarı, çeşitli su türlerinde üretilen evsel atıklar temelinde hesaplanmaktadır. WHO tarafından önerilen ortalama değer 10.0 mg/l'dir (Jain et al., 2022). Kızılırmak Havzasında yapılan analiz sonuçlarından elde edilen ortalama değerlere göre havzadaki örnekleme noktalarında 50 mg/L'nin altında olan sonuçlarla KOİ, herhangi bir tehdit oluşturmamaktadır. Ancak Yeşilırmak Havzasında özellikle Y-14 nolu örnekleme noktası KOİ değerinde artış görülmektedir. Y-14 (Çorum Çayı-Seyhoğlu) istasyonunda organik kirliliğin sebebi endüstriyel atıksu arıtma tesisleri deşarjlarıdır. Bu kirliliğin oluşumuna nehir kenarında bulunan Çorum ili Katı Atık vahşi depolama sahasından oluşan sızıntı ve yağmur suyu ile taşınan organik kirlleticiler de katkıda bulunmaktadır.



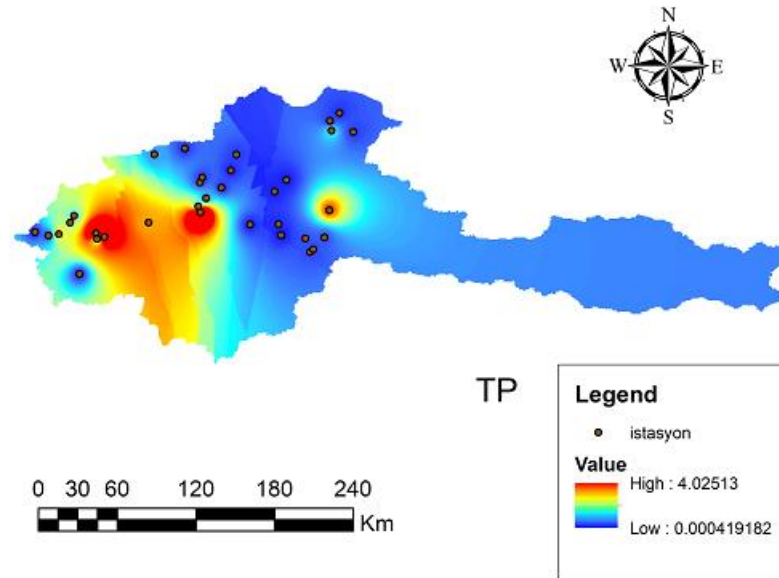
Şekil 6.33. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama Toplam Fosfor (mg/L) Seviyeleri



Şekil 6.34. Yeşilirmak Havzası Yıllık Ortalama Toplam Fosfor (mg/L) Seviyeleri



Şekil 6.35. Kızılırmak Havzasında Toplam Fosfor Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

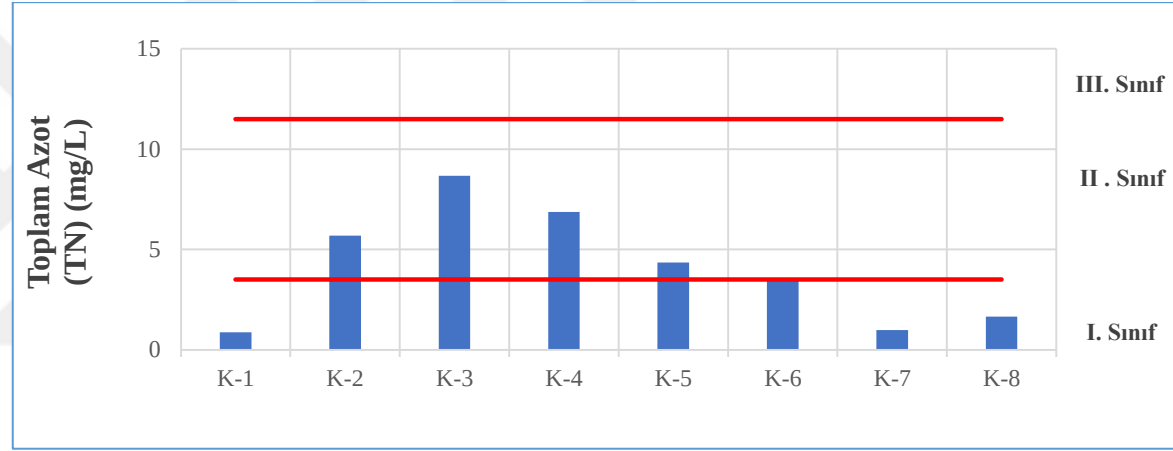


Şekil 6.36. Yeşilırmak Havzasında Toplam Fosfor Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

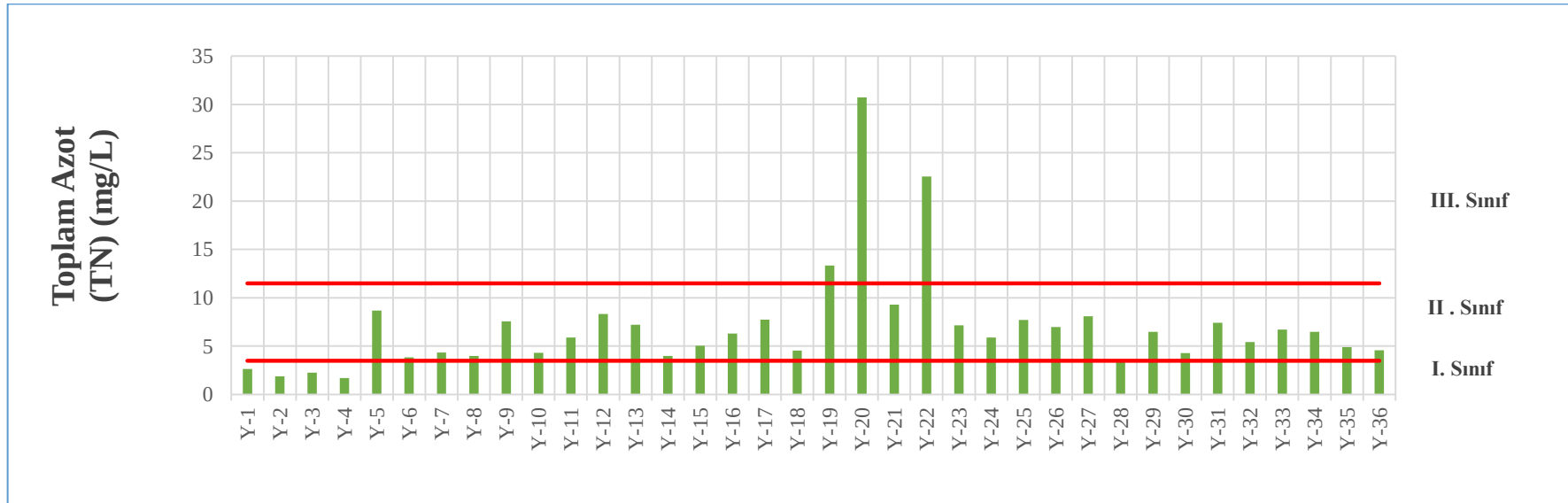
Kızılırmak Havzasında istasyonların yıllık ortalama TP parametresi ölçüm değerleri Şekil 6.33’de, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.35’de görülmektedir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğine göre TP için 0,08-0,2 mg/L arasında tanımlanan değer aralığı mevcuttur. İstasyonlardaki TP ölçüm değerlerine bakıldığında 0,04-2,18 mg/L değerleri arasında değişim gösterirken, standart sapma 0,75 ve varyans değeri 0,56 olarak kaydedilmiştir. En yüksek değer K-2 nolu (Budaközü Çayı Sungurlu Barajı Aks Yeri) istasyonda, en düşük değer K-1 (Kuzguncuk Deresi Çorum Bayat Kunduzlu Göleti Aksı), K-5 (Bakırçay Barajı Aks Yeri) ve K-7 (Boyabat Barajı Çıkış Köprü) nolu istasyonlarda ölçülmüştür. İstasyonların çoğunda TP parametresi bazında su kalitesi I. sınıf olarak kaydedilmiştir.

Yeşilırmak Havzasında istasyonlardaki yıllık ortalama TP parametresi ölçüm değerleri Şekil 6.34’te, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.36’da görülmektedir. İstasyonlardaki TP ölçüm değerlerine bakıldığında 0,0-4,05 mg/L değerleri arasında değişim gösterirken, standart sapma 0,88 ve varyans değeri 0,77 olarak kaydedilmiştir. En yüksek TP değeri Y-28 nolu (Yeşilırmak-Çayköy Regülatörü) istasyonda, en düşük değer ise Y-17 nolu (Değirmen Deresi-Tokat Merkez Güryıldız Göleti Aksı) istasyonda ölçülmüştür. Toplam fosfor değerleri yönetmelikle kıyaslanılırsa; 23 istasyon Sınıf I, 2 istasyon Sınıf II ve 11 istasyonun ise Sınıf III su kalite sınıfında yer aldığı görülmektedir.

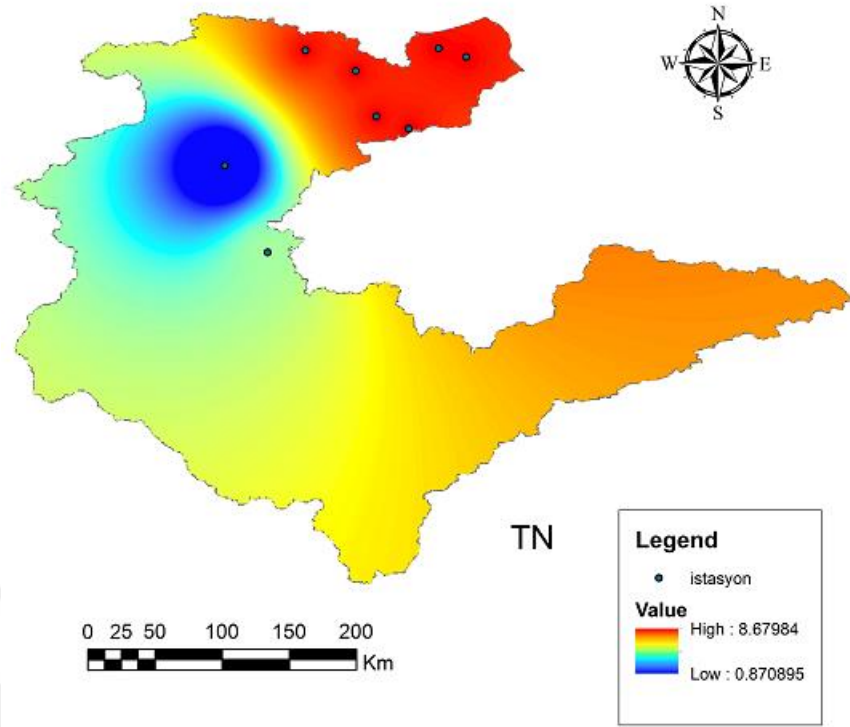
Fosfor temel bir bitki besin maddesidir ve çoğunlukla tatlı sulardaki su bitkilerinin (alg ve makrofit) büyümesini kontrol eder. Gübrelerde, insan ve hayvan atıklarında ve bahçe atıklarında bulunur. Fosforun atmosferik formu yoktur ve iki yaygın formu şunlardır: Birincisi çözünebilir reaktif fosfor, suda yaşayan canlılar tarafından kolayca kullanılabilen formdadır ve kaynakları arasında gübreler, hayvan atıkları ve septik sistemler yer almaktadır. İkincisi, toplam fosfor (TP)’dur ve fosforun çözünmüş ve partikül formlarını içerir. TP’nin 0,03 mg/L’den daha yüksek konsantrasyonları göllerde alg patlamalarına neden olabilir (Gorde & Jadhav, 2013). TP değerinin yüksek olduğu istasyonlar değerlendirildiğinde; evsel nitelikli atıksular, yörede yapılan hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklı atıkların su kaynaklarına karışması, tarım sektöründe yaygın olarak gübre ve kimyasal ilaç kullanımının artması toplam fosfor konsantrasyonunu etkilediği tahmin edilmektedir.



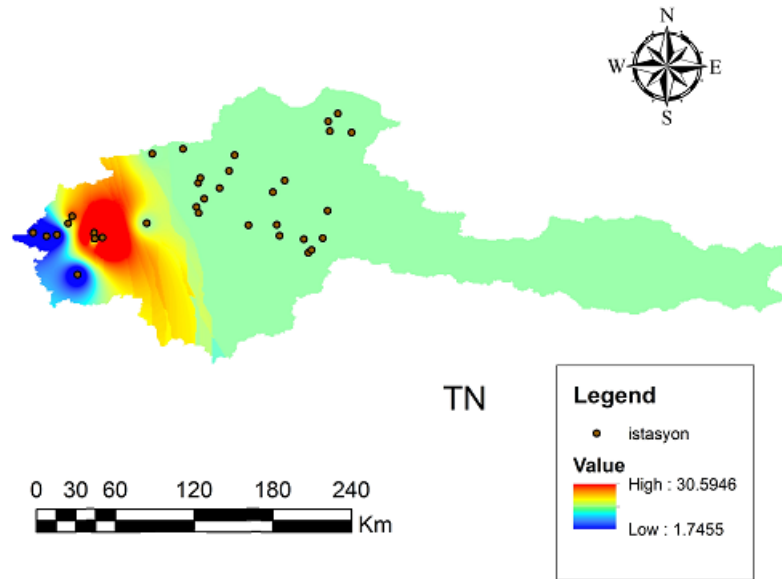
Şekil 6.37. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama Toplam Azot (mg/L) Seviyeleri



Şekil 6.38. Yeşılırmak Havzası Yıllık Ortalama Toplam Azot (mg/L) Seviyeleri



Şekil 6.39. Kızılırmak Havzasında Toplam Azot Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

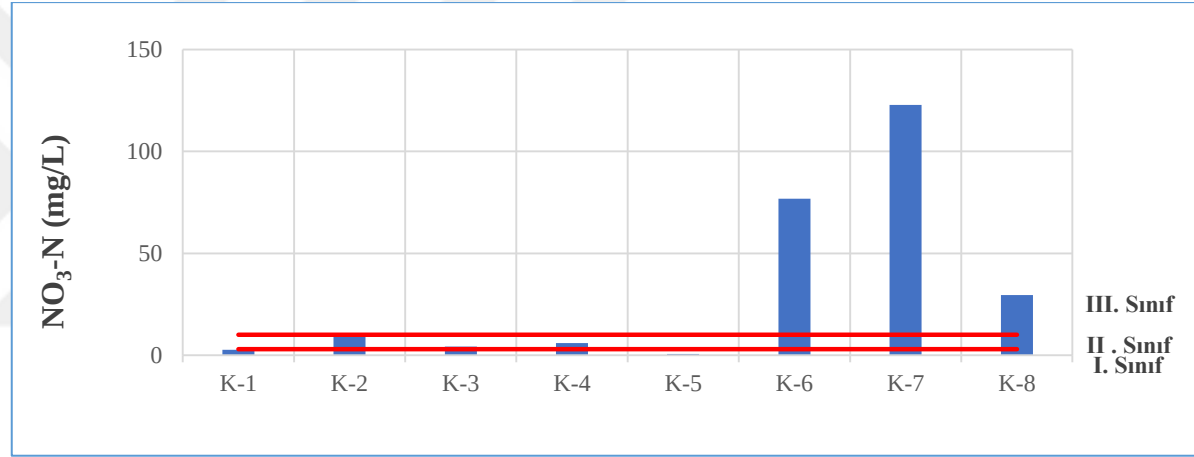


Şekil 6.40. Yeşilırmak Havzasında Toplam Azot Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

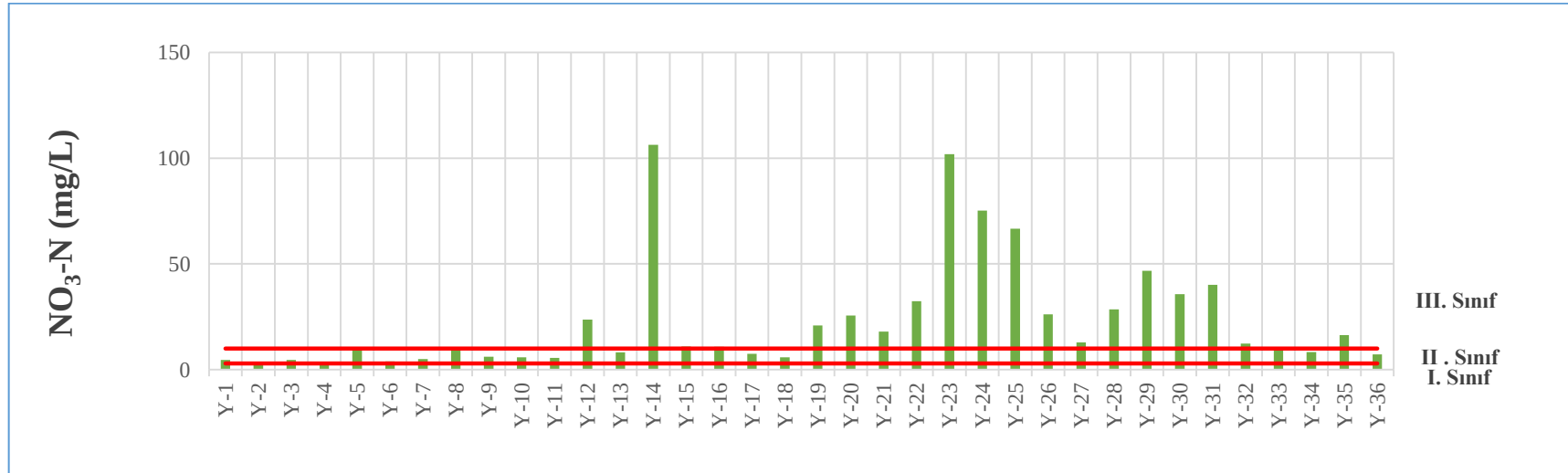
Kızılırmak Havzasında istasyonların yıllık ortalama TN parametresi ölçüm değerleri Şekil 6.37’de, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.39’da görülmektedir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğine göre TN için 3,5-11,5 mg/L arasında tanımlanan değer aralığı mevcuttur. İstasyonlardaki TN ölçüm değerlerine bakıldığında 0,87-8,68 mg/L değerleri arasında değişim gösterirken, standart sapma 2,81 ve varyans değeri 7,90 olarak kaydedilmiştir. En yüksek değer K-3 nolu (Taşkelik Çayı-Alaçam Taşkelik Göleti Aks Yeri) istasyonda, en düşük değer K-1 (Kuzguncuk Deresi Çorum Bayat Kunduzlu Göleti Aksı) nolu istasyonda ölçülmüştür. Toplam azot değerleri yönetmelikle kıyaslanırsa; 3 istasyonun Sınıf I ve 5 istasyonun Sınıf II su kalite sınıfında yer aldığı görülmektedir. Ortalama TN değerinin 7,33 olması nehir havzasında yoğun olarak II.sınıf su kalite derecesinin hakim olduğunu göstermektedir.

Yeşilirmak Havzasında istasyonlardaki yıllık ortalama TN parametresi ölçüm değerleri Şekil 6.38’de, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.40’da görülmektedir. İstasyonlardaki TN ölçüm değerlerine bakıldığında 1,71-30,74 mg/L değerleri arasında değişim gösterirken, standart sapma 5,03 ve varyans değeri 25,35 olarak kaydedilmiştir. En yüksek değer Y-20 nolu (Çorum Deresi-Ahılyas Deresi Sonrası) istasyonda, en düşük değer ise Y-4 nolu (Hatap Çayı-Hatap Barajı Çıkışı) istasyonda ölçülmüştür. Toplam azot değerleri yönetmelikle kıyaslanırsa; 5 istasyon Sınıf I, 28 istasyon Sınıf II ve 3 istasyonun ise Sınıf III su kalite sınıfında yer aldığı görülmektedir. Ortalama TN değerinin 8,98 olması nehir havzasında yoğun olarak II.sınıf su kalite derecesinin hakim olduğunu göstermektedir.

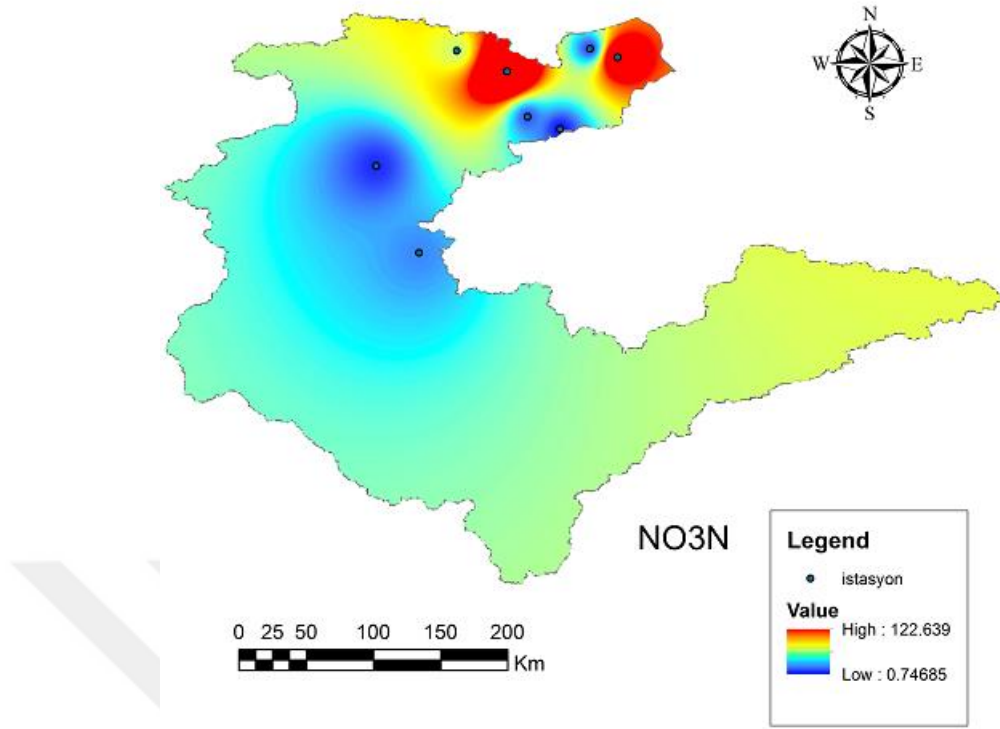
Azot, gübrelerde, insan ve hayvan atıklarında, bahçe atıklarında ve havada bulunan temel bir bitki besin maddesidir. Atmosferin yaklaşık %80’i azot gazıdır. Azot gazı suya yayılır ve burada mavi-yeşil algler tarafından alg kullanımı için amonyağa dönüştürülür. Azot ayrıca göllere ve akarsulara inorganik azot ve amonyak olarak da girebilir. Azot sucul sistemlere birçok şekilde girebildiğinden, bu sistemlerde bol miktarda mevcut azot kaynağı vardır (Gorde & Jadhav, 2013). Çalışma havzalarında TN değerinin yüksek olduğu istasyonlar değerlendirildiğinde; yörede yapılan hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklı atıkların suya karışması, tarım sektöründe yaygın olarak gübre ve kimyasal ilaç kullanımının artması toplam azot konsantrasyonunu etkilediği tahmin edilmektedir.



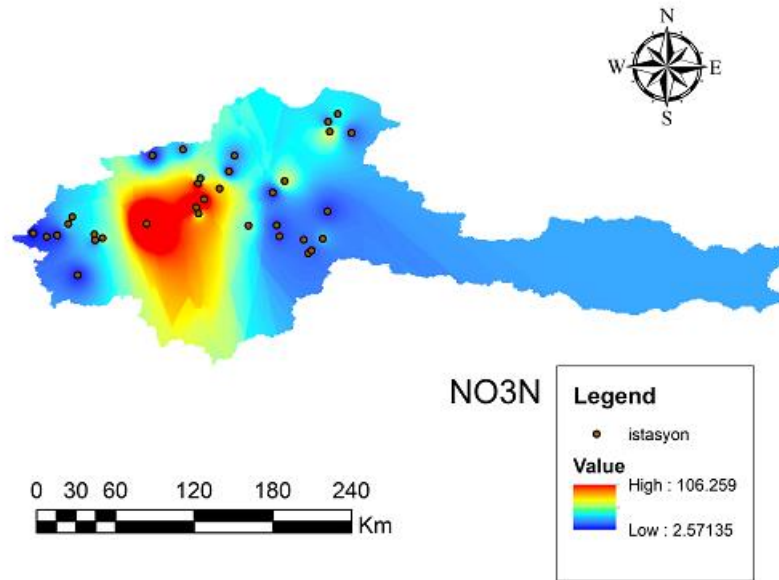
Şekil 6.41. Kızıllırmak Havzası Yıllık Ortalama Nitrat Azotu (mg/L) Seviyeleri



Şekil 6.42. Yeşilırmak Havzası Yıllık Ortalama Nitrat Azotu (mg/L) Seviyeleri



Şekil 6.43. Kızılırmak Havzasında Nitrat Azotu Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

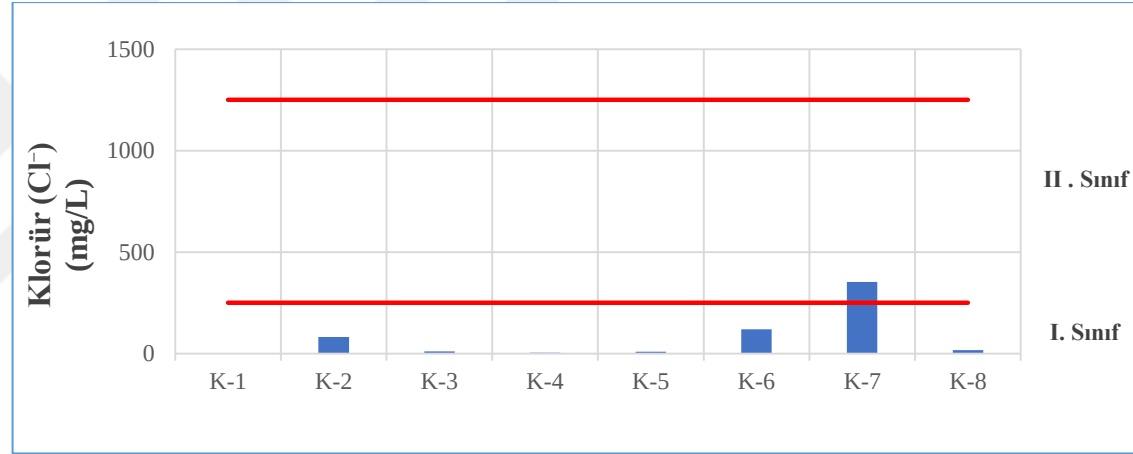


Şekil 6.44. Yeşilırmak Havzasında Nitrat Azotu Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

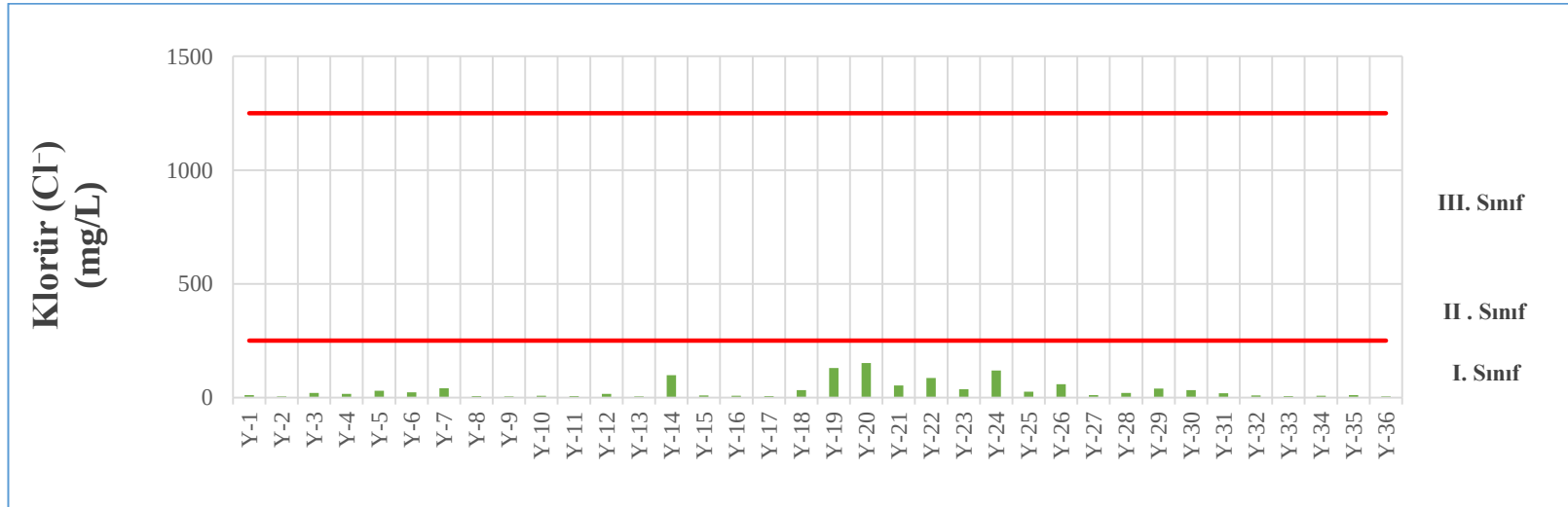
Kızılırmak Havzasında yıllık ortalama  $\text{NO}_3\text{-N}$  parametresi ölçüm değerleri Şekil 6.41’de, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.43’te görülmektedir. YSKY göre  $\text{NO}_3\text{-N}$  için 3-10 mg/L arasında tanımlanan değer aralığı mevcuttur. İstasyonlardaki ölçüm değerleri irdelendiğinde 0,70-122,73 mg/L arasında değişen aralıkta saptanmış, standart sapma 44,73 ve varyans değeri 2000,99 olarak hesaplanmıştır. En yüksek değer K-7 nolu (Boyabat Barajı Çıkışı Köprü) istasyonda, en düşük değer ise K-5 nolu (Bakırçay Barajı Aks Yeri) istasyonda ölçülmüştür. Çalışma havzasında nitrat parametresi bazında su kalite sınıfları değerlendirildiğinde 2 istasyon I. sınıf, 3 istasyon II. sınıf ve 3 istasyon ise III. sınıf kategorisinde yer almaktadır. Ortalamanitrat değerinin 31,60 mg/L olması nehir havzasında yoğun olarak Sınıf III kalite derecesinin hakim olduğunu göstermektedir.

Yeşilırmak Havzasında istasyonlardaki yıllık ortalama  $\text{NO}_3\text{-N}$  parametresi ölçüm değerleri Şekil 6.42’de, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.44’te görülmektedir. İstasyonlardaki ölçüm değerlerine bakıldığında 2,56-106,33 mg/L değerleri arasında değişim gösterirken, standart sapma 26,35 ve varyans değeri 694,61 olarak kaydedilmiştir. En yüksek değer Y-14 nolu (Çorum Çayı-Seyhoğlu) istasyonda, en düşük değerin Y-2 nolu (Ahılyas Deresi-Yenihayat Barajı Girişi) istasyonda ölçüldüğü kaydedilmiştir. Nitrat azotu değerleri yönetmelikle kıyaslanırsa; 2 istasyon Sınıf I, 14 istasyon Sınıf II ve 20 istasyonun ise Sınıf III su kalite sınıfında yer aldığı görülmektedir. Su kalite sınıflandırması bölgede ciddi bir nitrat kirliliğinin olduğunu göstermektedir. Yakınlarda Çorum Şeker Fabrikası’nın yer alması, Çorum Atıksu Arıtma Tesisi deşarjları, hayvancılık ve tarımsal faaliyetler nitrat kirliliği arttıran etkenler olarak değerlendirilmektedir.

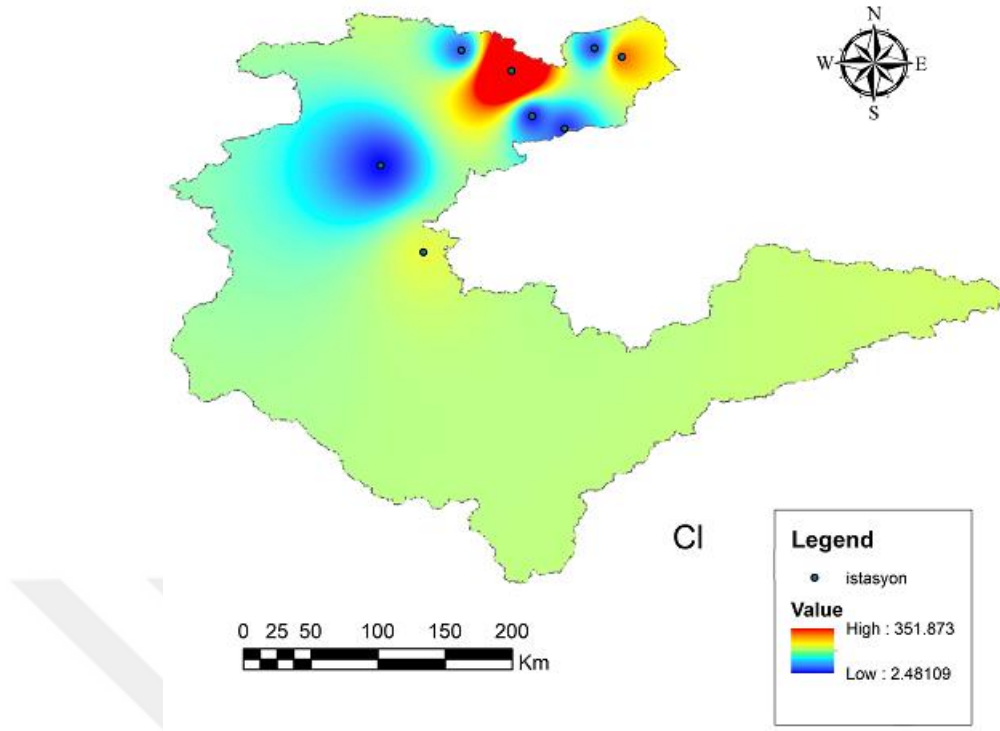
Nitrat ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), aerobik bakterilerin etkisiyle  $\text{NO}_2$ ’nin  $\text{NO}_3$ ’e oksidasyonu yoluyla oluşur. Yüzey suyu, kanalizasyon ve nitrat bakımından zengin diğer atıklarla da kirlenebilmektedir. İçme suyundaki yüksek nitrat konsantrasyonu toksiktir. EPA’ya göre, nitratın maksimum kirletici seviyesi içme suyu için 10 mg/l’dir. Çöp depolama alanlarından ve tarım faaliyetlerinden kaynaklanan akış, alıcı ortamdaki nitrat konsantrasyonunu büyük ölçüde etkilemektedir. Tarımsal gübre kullanımı, sızıntı yoluyla ve şiddetli yağışlar sırasında yüzeysel akış yoluyla alıcı ortamdaki nitrat seviyelerini arttırmaktadır (Devi et al., 2017). Sonuçlar, havzalardaki organik ve inorganik kirletici yüklerin noktasal (evsel deşarjlar) ve yayılı kaynaklardan (tarım, hayvancılık) yapılan deşarjlarla ilgili olabileceğini göstermektedir.



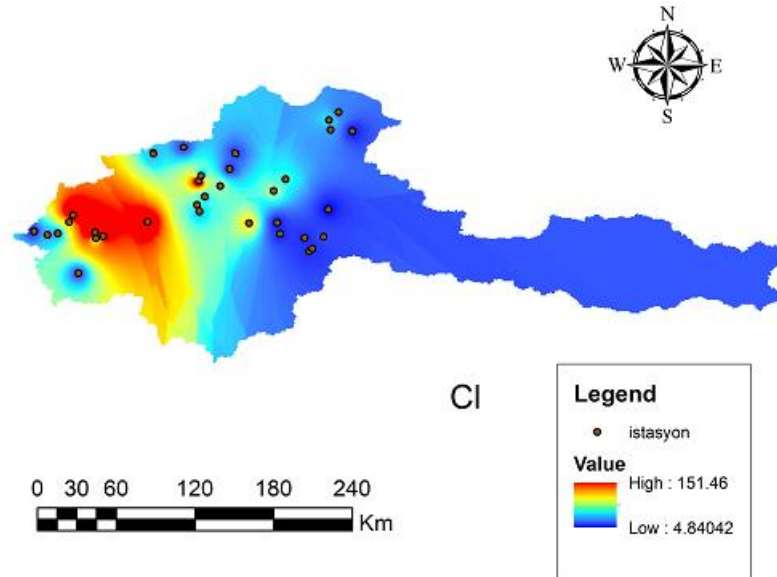
Şekil 6.45. Kızılrırmak Havzası Yıllık Ortalama Klor (mg/L) Seviyeleri



Şekil 6.46. Yeşilırmak Havzası Yıllık Ortalama Klor (mg/L) Seviyeleri



Şekil 6.47. Kızılırmak Havzasında Klor Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

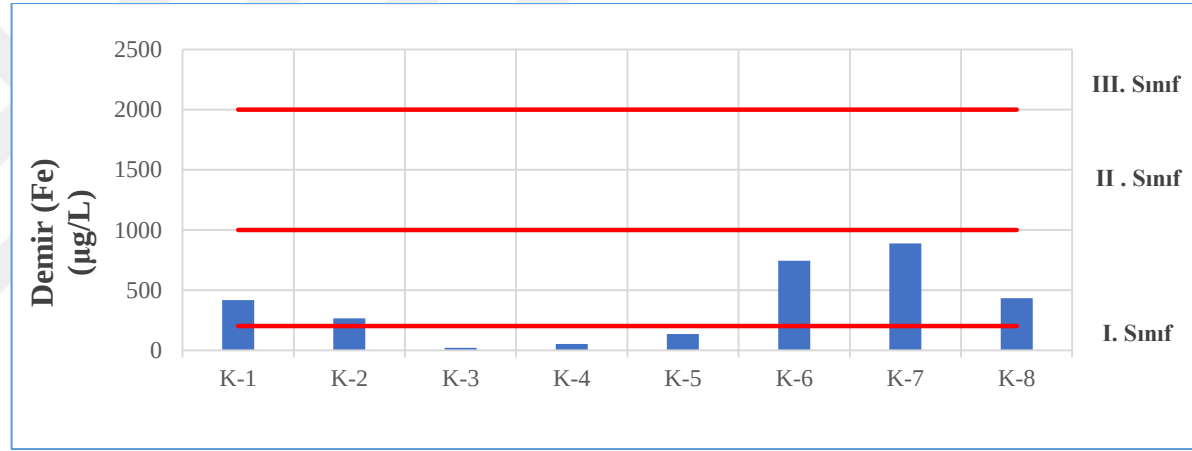


Şekil 6.48. Yeşilirmak Havzasında Klor Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

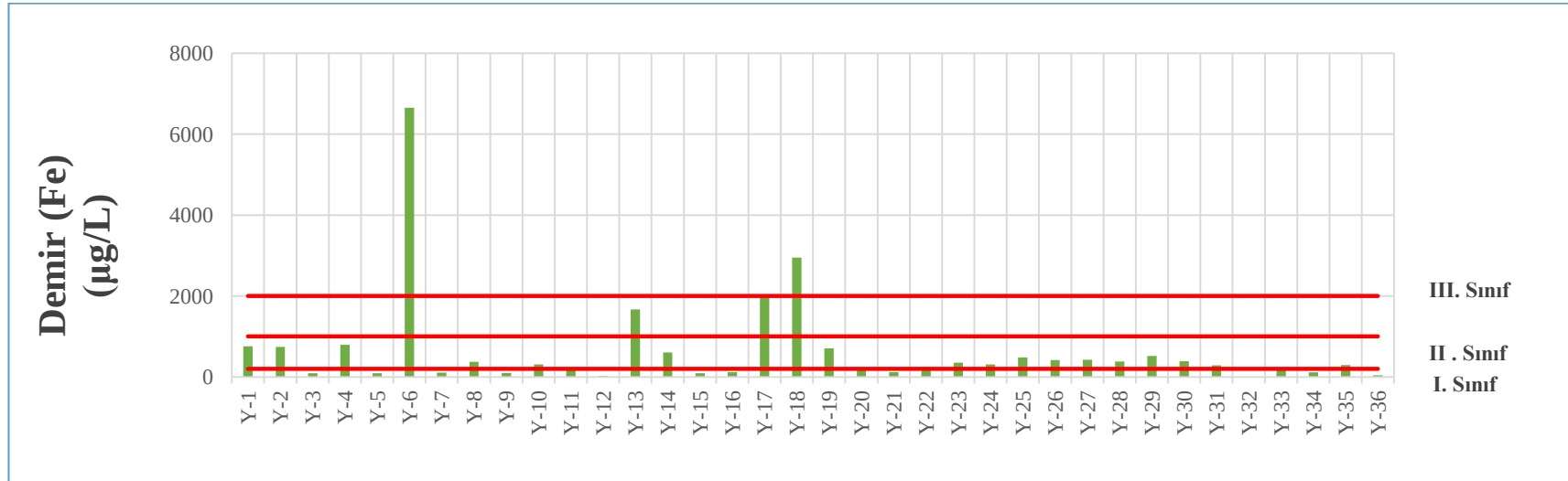
Kızılırmak Havzası yıllık ortalama klorür parametresi ölçüm seviyeleri Şekil 6.45'te, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.47'de görülmektedir. İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelikte yer alan su kalite sınıflarına göre klorür parametresi üç su kalite kategorisi için 250-1250 mg/L değer aralığındadır. Çalışma alanında yer alan istasyonlardaki klorür ölçüm parametresine ait değerler 2,47-352,16 mg/L değer aralığındadır, standart sapma değeri 120,05 ve varyans değeri 14411,92 olarak hesaplanmıştır. En yüksek klorür ölçüm değeri K-7 nolu (Boyabat Baraj Çıkışı Köprü) istasyon, en düşük ölçüm değeri ise K-4 nolu (Köyiçi Deresi Vezirköprü Soğucak Göleti) istasyonda tespit edilmiştir. Çalışma havzasında klorür parametresi bazında K-7 nolu istasyon dışındaki tüm istasyonlar I. sınıf su kategorisinde yer almaktadır. Ortalama klorür değerinin 74,52 mg/L olması nehir havzasında yoğun olarak I.sınıf su kalite derecesinin hakim olduğunu göstermektedir.

Yeşilirmak Havzası istasyonlardaki yıllık ortalama klorür parametresi ölçüm değerleri Şekil 6.46'da, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.48'de görülmektedir. İstasyonlardaki ölçüm değerleri 4,83-152,16 mg/L arasında değişirken, standart sapma 38,01 ve varyans değeri 1445,00 olarak hesaplanmıştır. En yüksek ölçüm değeri Y-20 nolu (Çorum Deresi-Ahılyas Deresi Sonrası) istasyon, en düşük ölçüm değeri ise Y-9 nolu (Çalkoru Deresi-Musullu Barajı Aks Yeri) istasyonda tespit edilmiştir. Çalışma havzasında klorür parametresi bazında tüm istasyonlar I. sınıf su kategorisinde yer almaktadır. Ortalama klorür değerinin ise 32,68 mg/L olması nehir havzasında klorür parametresi bazında kirlilik riskinin oluşmadığını göstermektedir.

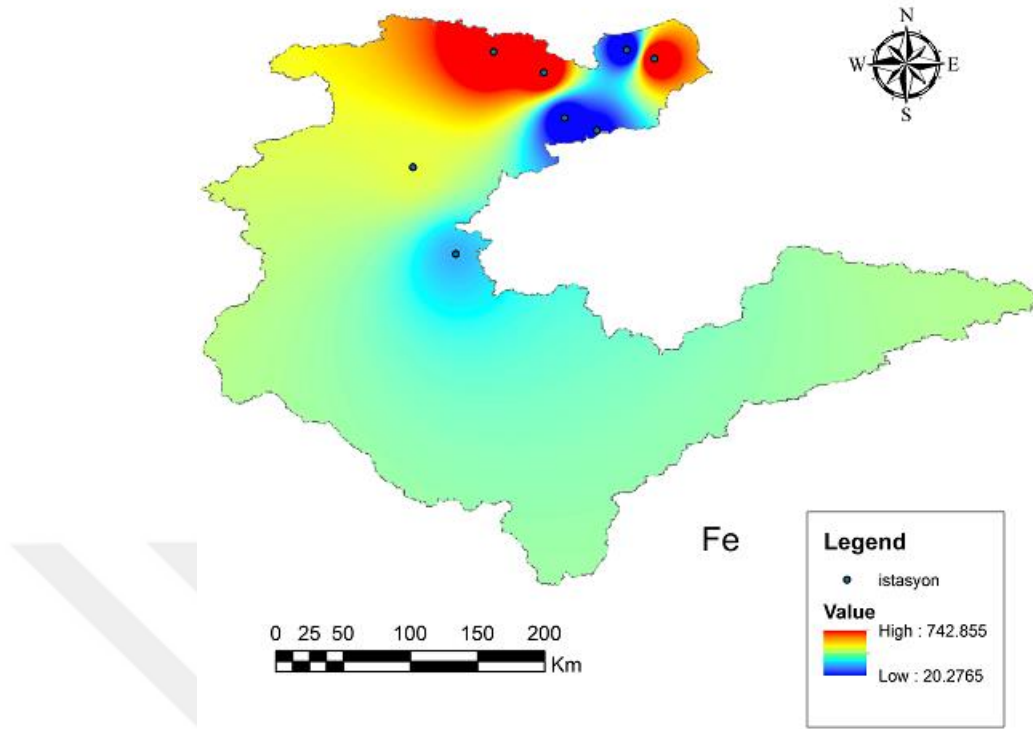
Klorür iyonları ( $\text{Cl}^-$ ) yüzey suyunda doğal olarak bulunur ve yüksek konsantrasyonda bulunması halinde hoş olmayan tuzlu bir tada neden olması dışında genellikle insan sağlığı için zararlı değildir. Bununla birlikte, tatlı sudaki nispeten yüksek Klorür konsantrasyonu (yaklaşık 250 mg/L veya daha fazla), klorür içeren kaya, tarımsal akış ve atık sudan kaynaklanan kirliliğe işaret edebilmektedir (Syeed et al., 2023). Nehir Havzalarında yapılan analiz sonuçlarından elde edilen ortalama değerlere göre genellikle örnekleme noktalarında 250 mg/L'nin altında olan sonuçlarla klorür, insan sağlığı için herhangi bir tehdit oluşturmamaktadır.



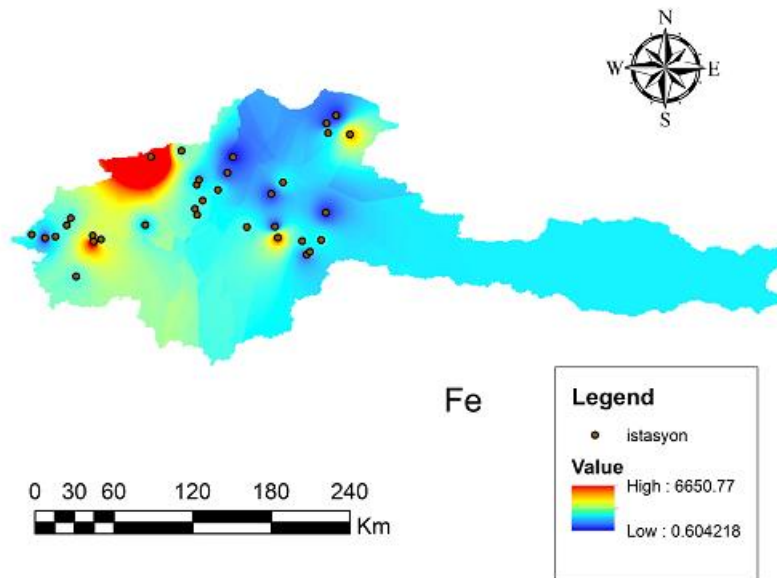
Şekil 6.49. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama Demir (µg/L) Seviyeleri



Şekil 6.50. Yeşilirmak Havzası Yıllık Ortalama Demir (µg/L) Seviyeleri



Şekil 6.51. Kızılırmak Havzasında Demir Parametresi Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

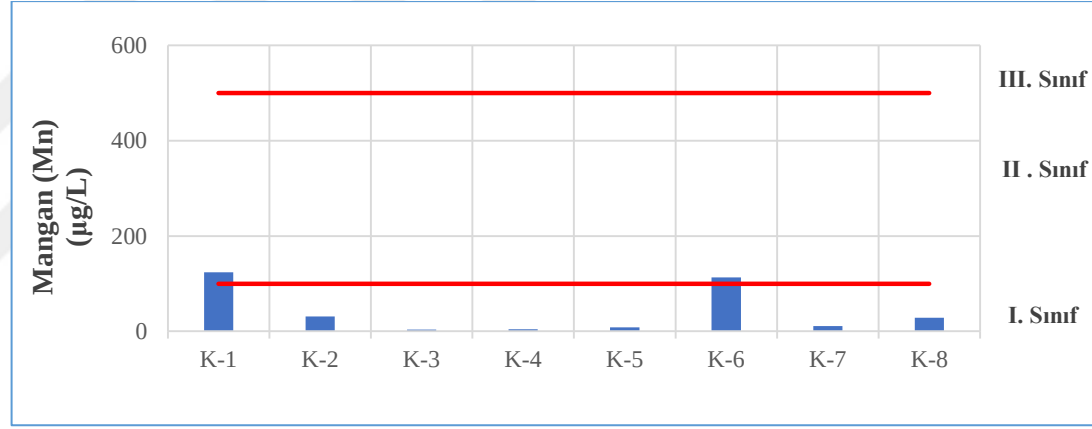


Şekil 6.52. Yeşilirmak Havzasında Demir Parametresi Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

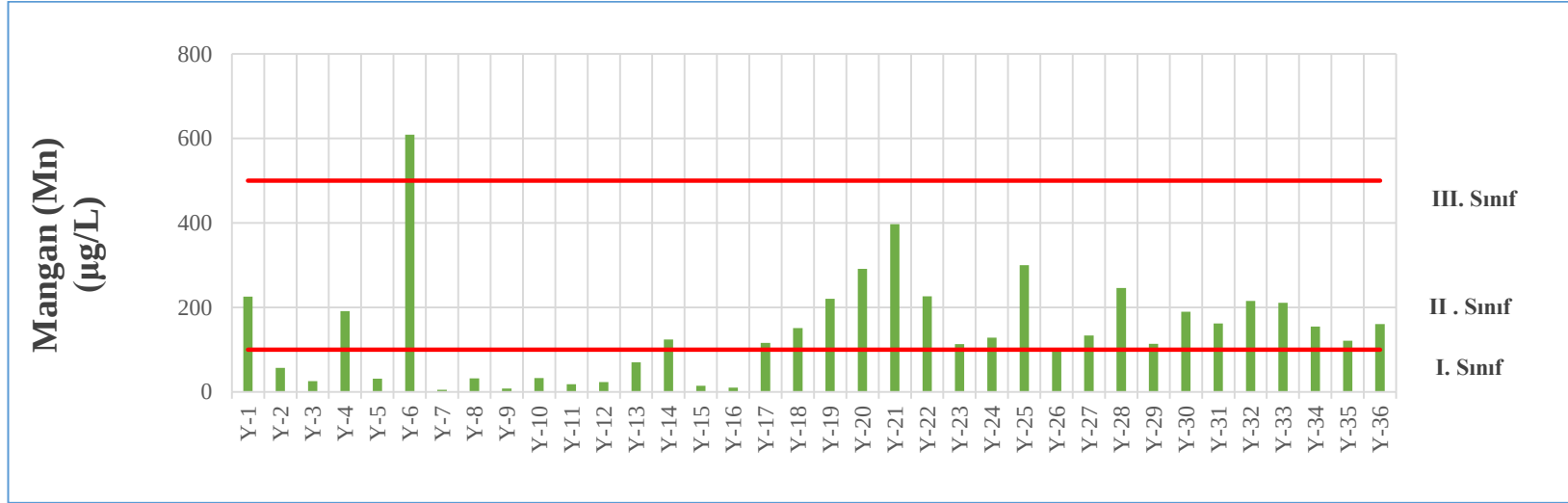
Kızılırmak Havzasında yıllık ortalama demir parametresi ölçüm değerleri Şekil 6.49'da, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.51'de görülmektedir. İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik'e göre demir parametresi üç su kalite kategorisi için 200-2000 µg/L değer aralığındadır. Ölçüm sonuçları irdelendiğinde 19,23-742,96 µg/L arasında değişen aralıkta saptanmış, standart sapma 317,41 ve varyans değeri 100.752,24 olarak hesaplanmıştır. En yüksek değer K-7 nolu (Boyabat Baraj Çıkışı Köprü) istasyonda, en düşük değer ise K-3 nolu (Taşkelik Çayı-Alaçam Taşkelik Göleti Aks Yeri) istasyonda ölçülmüştür. Su kalite sınıflandırması değerlendirildiğinde 5 istasyonun II. sınıf su kategorisinde diğer istasyonların I. sınıf su kategorisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Yeşilırmak Havzasında istasyonlardaki yıllık ortalama demir parametresi ölçüm değerleri Şekil 6.50'de, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.52'de görülmektedir. Ölçüm sonuçlarına bakıldığında 0,10-6.656,94 µg/L değerleri arasında değişim gösterirken, standart sapma 1.157,309 ve varyans değeri 1.339.363 olarak kaydedilmiştir. En yüksek değer Y-6 nolu (Yeni Merzifon Barajı Aks Yeri) istasyonda, en düşük değer Y-32 nolu (Tersakan Çayı-Ladik Gölü Regülatör Çıkışı) istasyonda ölçülmüştür. Değerler yönetmelikle kıyaslanırsa; 13 istasyon Sınıf I, 19'u Sınıf II ve 4'ünün ise Sınıf III su kalite sınıfında yer aldığı görülmektedir.

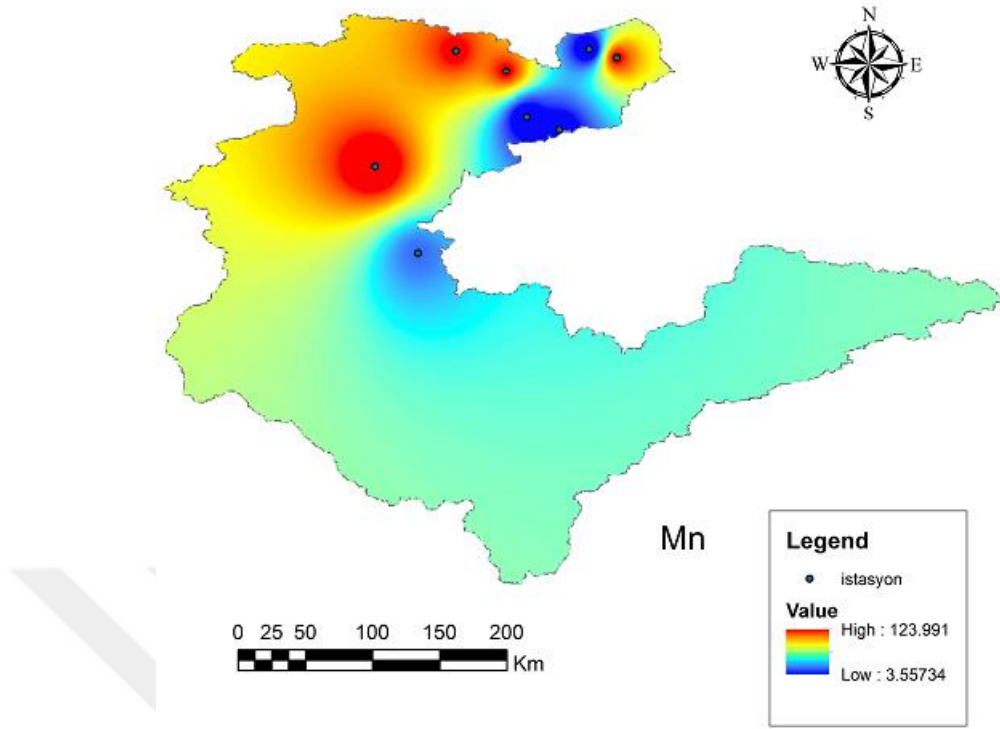
Demir (Fe) elementi dünyada en çok varolan elementlerden biridir ancak doğada element halinde bulunması zordur.  $Fe^{+2/+3}$  bu iki formdaki demir iyonları oksijen yada sülfür içeren hidroksitler, oksitler, sülfatlar ve karbonatları oluşturarak doğada bulunurlar. Demir, kaya ve minerallerin aşınmasıyla ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklı su kütlelerine karışmaktadır. Sularda çok düşük konsantrasyonlarda bile olması suya acı tat vermektedir (WHO, 2011). Bu çalışmada bakır (Cu), kurşun (Pb), nikel (Ni), demir (Fe), çinko (Zn), alüminyum (Al), krom (Cr) metalleri izleme değerleri su kalite değerlendirmesine dahil edilmiştir. Metallerin yer aldığı iz elementler grubunda su kalitesinde genellikle demir parametresi sınıf belirleyici olduğundan diğerleri için grafiklendirme yapılmamıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde Y-6 nolu istasyonda değerlerin çok yüksek olmasının fabrika kaynaklı endüstriyel atıkların sebep olduğu tahmin edilmektedir.



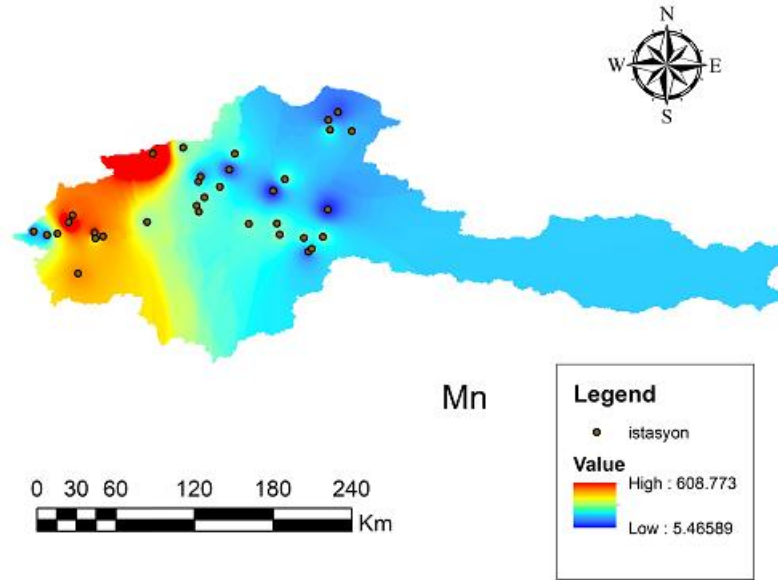
Şekil 6.53. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama Mangan (µg/L) Seviyeleri



Şekil 6.54. Yeşilirmak Havzası Yıllık Ortalama Mangan (µg/L) Seviyeleri



Şekil 6.55. Kızılırmak Havzasında Mangan Parametresi Değerlerinin Uzaysal Dağılımı



Şekil 6.56. Yeşilirmak Havzasında Mangan Parametresi Değerlerinin Uzaysal Dağılımı

Kızılırmak Havzasında çalışma sahasındaki yıllık ortalama mangan parametresi ölçüm değerleri Şekil 6.53'te, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.55'te görülmektedir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğine göre mangan için 100-500 µg/L arasında tanımlanan değer aralığı mevcuttur. İstasyonlardaki ölçüm değerleri irdelendiğinde 3,40-124,00 µg/L arasında değişen aralıkta saptanmış, standart sapma 56,35 ve varyans değeri 3.175,90 olarak hesaplanmıştır. En yüksek değer K-1 nolu (Kuzguncuk Dersi Çorum Bayat Kunduzlu Göleti Aksı) istasyonda, en düşük değer ise K-3 nolu (Taşkelik Çayı-Alaçam Taşkelik Göleti Aks Yeri) istasyonda kaydedilmiştir. Su kalite sınıflandırması değerlendirildiğinde 2 istasyonun II. sınıf su kategorisinde diğer istasyonların I. sınıf su kategorisinde yer aldığı tespit edilmiştir. Ortalama mangan değerinin 63,81 µg/L olması I. sınıf su kalite derecesinin hakim olduğunu ve nehir havzasında mangan parametresi bazında kirlilik riskinin oluşmadığını göstermektedir.

Yeşilırmak Havzasında istasyonlardaki yıllık ortalama mangan parametresi ölçüm değerleri Şekil 6.54'te, değerlerin havzada istasyonlara göre uzaysal dağılımı Şekil 6.56'da görülmektedir. İstasyonlardaki ölçüm değerlerine bakıldığında 5,40-609,29 µg/L değerleri arasında değişim gösterirken, standart sapma 118,51 ve varyans değeri 14.044,62 olarak kaydedilmiştir. En yüksek değer Y-6 nolu (Yeni Merzifon Barajı Aks Yeri) istasyonda, en düşük değer Y-7 nolu (Tatlıpınar Deresi-Taşova Tatlıpınar Göleti Aks Yeri) istasyonda ölçülmüştür. Mangan değerleri yönetmelikle kıyaslanırsa; 12 istasyon Sınıf I, 23 istasyon Sınıf II ve 1 istasyonun ise Sınıf III su kalite sınıfında yer aldığı görülmektedir. Ortalama mangan değerinin 124,04 µg/L olması nehir havzasında yoğun olarak II. sınıf su kalite derecesinin hakim olduğunu göstermektedir.

Mangan (Mn), demir elementi gibi dünyada bol miktarda bulunan metallere dendir. Sudaki yoğunluğu demire göre daha azdır. Demir ve çelik gibi alaşımların imalatında, temizlikte okside edici olarak, dezenfeksiyonda ve beyazlatmada (potasyum permanganat olarak), pek çok ürünün içerisinde bulunmaktadır. Manganın 0,1 mg/L değerini aşmakta olan miktarlarda istenilmeyen tatla birlikte çamaşırlarda ve borularda lekelenmelere neden olmaktadır (WHO, 2011). Bölgede madencilik faaliyetlerinin mangan konsantrasyonunun artmasında etken olduğu tahmin edilmektedir.

#### 6.4. İzleme Parametrelerinin Hazen Yöntemine Göre Değerlendirilmesi

Su kaynaklarının kalite kriterlerine göre sınıflandırılması standartlar kullanılarak yapılmaktadır. Bir su kalitesi standardı, kaynağın kalitesinin bozulmaması için hedef kriterler belirlemekte, su kaynağının kullanım amacını tanımlamakta, mevcut kalitenin bozulmaması ve yararlı kullanımları için gerekli sınırları belirlemektedir. Su kalite sınıflandırması yapılırken izleme verileri esas alınmakta ve yönetmeliklerdeki ilgili konsantrasyon aralıklarına karşılık gelen sınıf o parametrenin kalite sınıfını oluşturmaktadır. Tek bir izleme noktası ve tek bir izleme dönemi için bu değerlendirme yapılabileceği gibi mevsimlik, dönemlik veya yıllık ortalama değerler kullanılarak da değerlendirme yapılabilmektedir.

Bir nehir havzasında parametre bazlı değerlendirme yapıldığında verilerin bulunduğu dönemdeki ortalama değeri istasyonun karakteristik değerini değil de ortalamasını temsil etmektedir. Su kalitesindeki değişimin değerlendirilmesi yapılmak istendiğinde istatistiksel olarak karakteristik bir değer belirlemek daha doğru bir yorumlama imkanı sunmaktadır. Bu değerleri Hazen yöntemiyle belirlemek mümkündür. Tez çalışmasında istasyon bazlı her bir örnekleme parametresi için elde edilen veriler kullanılarak Hazen yöntemine göre %95 olasılıkla aşamayacak karakteristik değerler hesaplanmıştır. Tablo 6.11.'de nehir havzalarında yer alan dört istasyon için örnek uygulama verilmiştir. Bu işlemler iki nehir havzasında da uygulanarak karakteristik değer ( $X_r$ ) belirlenmiştir. İlgili yönetmelikler kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. Yerüstü Su Kalitesi Kontrolü Yönetmeliği'nde (pH, NTU, E.İ, Ç.O, BOI<sub>5</sub>, KO, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, TKN, TN, oPO<sub>4</sub>, TP, Mn, Se), İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik'te (Cl<sup>-</sup>, Pb, Cu, Ni, Fe, Zn, Al, Cr, renk) ve Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği'nde (T, % doyumluk, AKM) yer alan ilgili aralıklarla kıyaslanarak her bir parametre değerine karşılık gelen su kalite sınıfı belirlenmiştir.

Bu veri değerlendirme yöntemine göre yeni su kalite sınıfları oluşturulmuştur. Metot uygulanırken en az 10 ölçüm değeri dikkate alındığı için değerler arasındaki artış ve azalış sonuçları direkt olarak etkilemektedir. DSİ laboratuvar analizleri ve saha ölçüm sonuçlarından elde edilen aylık izleme verileri ile Hazen yönteminin çıktıları kıyaslandığında su kalite sınıflarında değişkenlik gözlemlenmiştir.

Tablo 6.11. İstasyonlardaki İzleme Parametrelerinin Hazen Yöntemiyle Hesaplanması

|                                      |             | Y-2  |                  | Y-17 |                  | Y-19  |                  | Y-20   |                  |
|--------------------------------------|-------------|------|------------------|------|------------------|-------|------------------|--------|------------------|
| Parametre                            | Veri Sayısı | Xr   | Su Kalite Sınıfı | Xr   | Su Kalite Sınıfı | Xr    | Su Kalite Sınıfı | Xr     | Su Kalite Sınıfı |
| pH                                   | 12          | 9    | I                | 9    | I                | 8     | I                | 9      | I                |
| Renk (Pt/Co)                         | 12          | 2,7  | II               | 1,5  | II               | 4,7   | III              | 8,2    | III              |
| İletkenlik (µS/cm)                   | 12          | 820  | II               | 458  | II               | 2251  | III              | 2051   | III              |
| Bulanıklık (NTU)                     | 12          | 8    | II               | 30   | II               | 12    | II               | 55     | III              |
| Çözünmüş oksijen (mg/L)              | 12          | 8    | I                | 9    | III              | 2     | III              | 3      | III              |
| Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L) | 12          | 6    | II               | 3    | I                | 59    | III              | 39     | III              |
| Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)     | 12          | 16   | I                | 5    | I                | 69    | III              | 82     | III              |
| Amonyum azotu (mg/L)                 | 12          | 1    | II               | 1    | II               | 45181 | III              | 121318 | III              |
| Toplam kjeldahl-azotu (mg/L)         | 12          | 1    | II               | 1    | II               | 6     | III              | 19     | III              |
| Nitrat azotu (mg/L)                  | 12          | 6    | II               | 8    | II               | 21    | III              | 26     | III              |
| Toplam Azot (mg/L)                   | 12          | 5    | II               | 1    | I                | 14    | III              | 9      | III              |
| Toplam fosfor (mg/L)                 | 12          | 0,4  | III              | 2    | III              | 0,3   | II               | 0,6    | III              |
| Orto Fosfat Fosforu (mg/L)           | 12          | 1    | III              | 1,8  | III              | 2     | III              | 13     | III              |
| Klorür (mg/L)                        | 12          | 7    | I                | 8    | I                | 176   | I                | 172    | I                |
| Mangan (µg/L)                        | 12          | 17   | I                | 117  | II               | 143   | II               | 136    | II               |
| Selenyum (µg/L)                      | 12          | 1    | I                | 2    | I                | 1     | I                | 1      | I                |
| Bakır (µg/L)                         | 12          | 13   | I                | 19   | I                | 9     | I                | 11     | I                |
| Kurşun (µg/L)                        | 12          | 2    | I                | 6    | I                | 2     | I                | 2      | I                |
| Nikel (µg/L)                         | 12          | 50   | I                | 18   | I                | 12    | I                | 10     | I                |
| Demir (µg/L)                         | 12          | 765  | III              | 3492 | III              | 2030  | III              | 2980   | III              |
| Çinko (µg/L)                         | 12          | 183  | I                | 41   | I                | 108   | I                | 110    | I                |
| Alüminyum (µg/L)                     | 12          | 1016 | III              | 1876 | III              | 922   | III              | 1024   | III              |
| Krom (µg/L)                          | 12          | 27   | I                | 14   | I                | 18    | I                | 8      | I                |

Kızılırmak Nehir Havzası için karakteristik değerler dikkate alınarak bir değerlendirme yapıldığında, istasyonlar ve izlenen parametrelerin tümü birlikte değerlendirildiğinde nehir havzası sınıf I su kalite kategorisini temsil etmektedir. Havzadaki su kalite sınıflarının yüzdesel dağılımı ise sırasıyla sınıf I %53, sınıf II %20,7 ve sınıf III %26,3 değeri ile temsil edilmektedir. Her bir parametre için genel su kalite sınıflandırması ve karakteristik değer ölçeğinde su kalite sınıflandırmasını değerlendirirsek; parametrelerin değerleri değişirken bir çoğu aynı su kalite sınıfında yer alırken, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, renk, toplam fosfor ve çinko parametrelerinin kalite sınıfları değişmiştir. Toplam fosfor parametresi ortalama değeri ile sınıf II kategorisinde yer alırken hesaplanan karakteristik değere göre sınıf III su kalite sınıfında yer almıştır. Diğer parametreler ise ortalama değeri ile sınıf I

kategorisinde yer alırken hesaplanan karakteristik değere göre sınıf II su kalite sınıfında yer almıştır. Havzada izlenen çözülmüş oksijen, kimyasal oksijen ihtiyacı, klor ve bazı ağır metaller (bakır, kurşun ve nikel) havzada baskın olarak sınıf I su kalite sınıfını temsil etmektedir. Toplam fosfor, ortofosfat fosforu, iletkenlik, nitrat azotu, toplam azot ve bulanıklık havzadaki baskın olarak sınıf III su kalite sınıfında yer almaktadır. Havza karakterizasyonuna bakıldığında Aşağı Kızılırmak Alt Havzasında yer alan yerleşim yerlerinde tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin yer alması azot ve fosfor yükünü artırmaktadır. İletkenlik parametresi iki kirletici unsuru işaret etmektedir. Bunlardan birincisi düzensiz depolama sahalarının neden olduğu sızıntı sularının alıcı ortamlara kontrolsüz akışı ikincisi de karstik yapıdaki yüzey materyalinin çözünmesi iletkenlik konsantrasyonunu arttırmaktadır.

Yeşilırmak nehir havzası için karakteristik değerler dikkate alınarak bir değerlendirme yapıldığında, istasyonlar ve izlenen parametrelerin tümü birlikte değerlendirildiğinde nehir havzası hem sınıf I hem de sınıf III su kalite kategorisini baskın olarak temsil etmektedir. Havzadaki su kalite sınıflarının yüzdesel dağılımı ise sırasıyla sınıf I %43,7, sınıf II %18,6 ve sınıf III %37,7 değeri ile temsil edilmektedir. Her bir parametre için genel su kalite sınıflandırması ve karakteristik değer ölçeğinde su kalite sınıflandırmasını değerlendirirsek; parametrelerin değerleri değişirken bir çoğu aynı su kalite sınıfında yer alırken, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, renk, toplam fosfor, toplam azot, bulanıklık, alüminyum ve çinko parametrelerinin kalite sınıfları değişmiştir. Kalite sınıfı değişen bu 7 parametre ortalama değeri ile sınıf II kategorisinde yer alırken hesaplanan karakteristik değere göre sınıf III su kalite sınıfında yer almıştır. Havzada izlenen çözülmüş oksijen, kimyasal oksijen ihtiyacı, klor ve bazı ağır metaller (bakır, kurşun, nikel ve çinko) havzada baskın olarak sınıf I su kalite sınıfını temsil etmektedir. Toplam fosfor, ortofosfat fosforu, nitrat azotu, toplam azot, toplam kjeldahl azotu ve bulanıklık havzadaki baskın olarak sınıf III su kalite sınıfında yer almaktadır. İstasyonlar arasında ortalama/karakteristik değerlerde gözlemlenen farklılıklar dikkate alındığında, su kalitesinin mekâna bağlı olarak değişim gösterdiği de gözlemlenmektedir. Nehir havzasında azot ve türevlerinin hesaplanan karakteristik değerleri istikrarlı bir şekilde sınıf III su kalite kategorisinde kalmıştır. Bu durum bölgede yoğun hayvancılık ve tarımsal faaliyetler yürütüldüğünü, azot kaynaklı kentsel ve endüstriyel baskıların yoğun olduğuna işaret etmektedir.

## 6.5. Su Kalite İndekslerinin Değerlendirilmesi

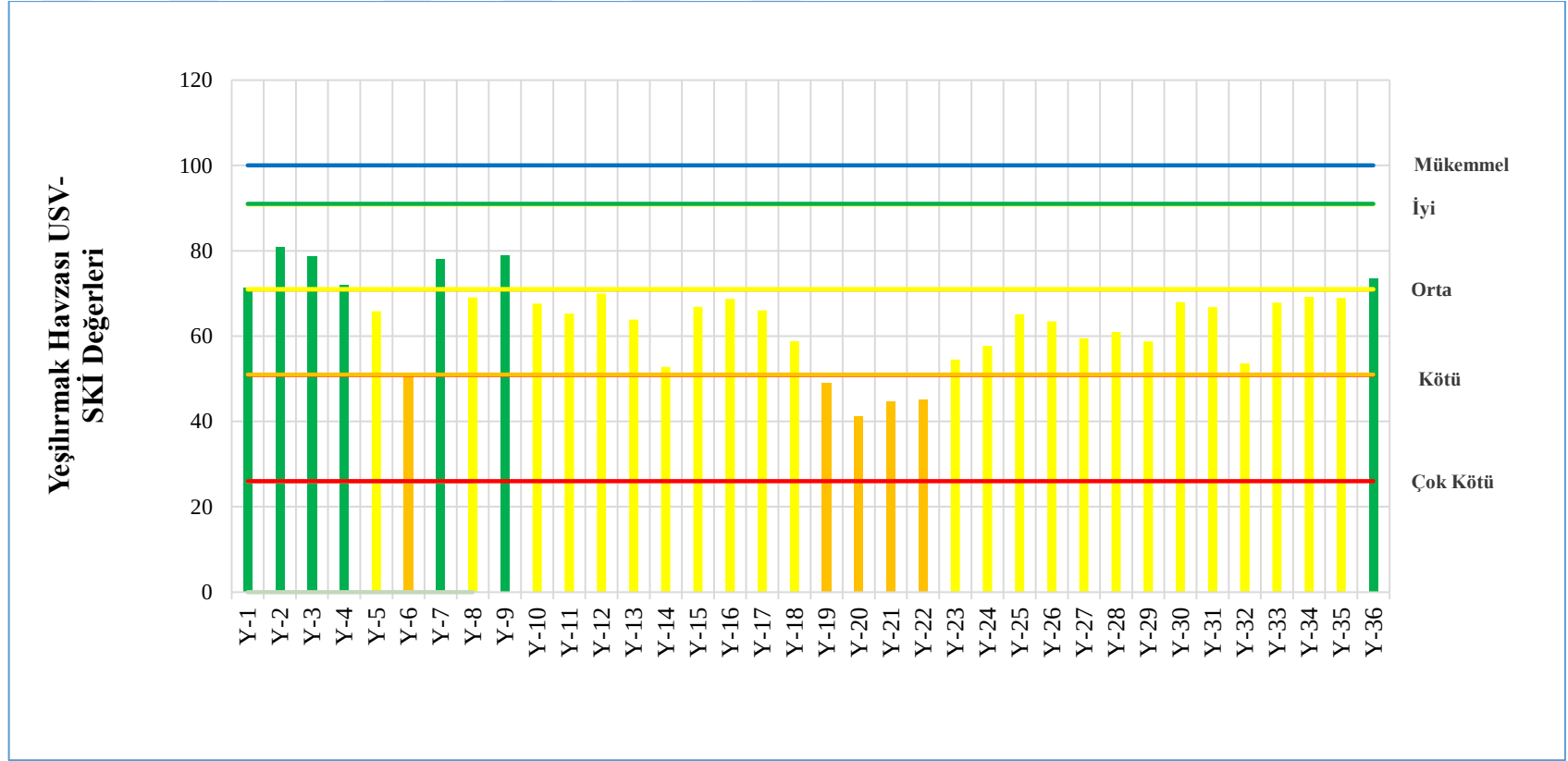
Çalışmada üç farklı indeks hesaplama modeli kullanılarak su kalitesi değerlendirilmesi yapılmıştır. Her bir indeks modelinin uygulama koşulları gözetilerek parametre seçimleri yapılmış, sonuçlar tablo ve şekillerle desteklenerek açıklanmaktadır.

### 6.5.1. Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksinin Değerlendirilmesi

Tez çalışmasında her iki nehir havzasına ait aylık su kalitesi analiz sonuçları kullanılarak su kalitesi indeksleri yıllık olarak hesaplanmıştır. Ulusal Sanitasyon Vakfı (USV) su kalite indeks hesaplamasında sıcaklık, pH, bulanıklık, çözünmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, toplam fosfat, toplam nitrat parametrelerine ait hesaplama verilerinden yararlanılmıştır. İndeks hesaplaması yapılırken Denklem 3.1'deki formül, Tablo 3.5'te yer alan ağırlık değerleri ( $W_i$ ) ve "Field Manual for Water Quality Monitoring" kitabındaki abaklardan her bir parametre değerine karşı okunan  $Q_i$  değerleri kullanılmıştır. Tüm parametreler için hesaplanan değerlerin toplamı istasyonun su kalite indeks değerini vermektedir. Bu işlem hem Yeşilirmak hem de Kızılırmak Havzasında yer alan istasyonlar için teker teker uygulanmış ve sonuçlar aşağıda Tablo 6.11-6.12 ve Şekil 6.57-6.58'de verilmiştir.

Tablo 6.12. Yeşilirmak Havzası Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeks Değerlendirmesi

| İstasyon No | USV Su Kalite İndeks Değeri | USV Su Kalite İndeks Derecesi | İstasyon No | USV Su Kalite İndeks Değeri | USV Su Kalite İndeks Derecesi |
|-------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Y-1         | 71,45                       | iyi                           | Y-19        | 49,09                       | kötü                          |
| Y-2         | 80,86                       | iyi                           | Y-20        | 41,35                       | kötü                          |
| Y-3         | 78,73                       | iyi                           | Y-21        | 44,67                       | kötü                          |
| Y-4         | 72,02                       | iyi                           | Y-22        | 45,17                       | kötü                          |
| Y-5         | 65,86                       | orta                          | Y-23        | 54,52                       | orta                          |
| Y-6         | 50,56                       | kötü                          | Y-24        | 57,74                       | orta                          |
| Y-7         | 78,17                       | iyi                           | Y-25        | 65,15                       | orta                          |
| Y-8         | 69,06                       | orta                          | Y-26        | 63,46                       | orta                          |
| Y-9         | 78,96                       | iyi                           | Y-27        | 59,48                       | orta                          |
| Y-10        | 67,63                       | orta                          | Y-28        | 60,99                       | orta                          |
| Y-11        | 65,26                       | orta                          | Y-29        | 58,75                       | orta                          |
| Y-12        | 69,98                       | orta                          | Y-30        | 67,97                       | orta                          |
| Y-13        | 63,91                       | orta                          | Y-31        | 66,81                       | orta                          |
| Y-14        | 52,76                       | orta                          | Y-32        | 53,64                       | orta                          |
| Y-15        | 66,87                       | orta                          | Y-33        | 67,82                       | orta                          |
| Y-16        | 68,73                       | orta                          | Y-34        | 69,21                       | orta                          |
| Y-17        | 66,04                       | orta                          | Y-35        | 68,92                       | orta                          |
| Y-18        | 58,81                       | orta                          | Y-36        | 73,63                       | iyi                           |



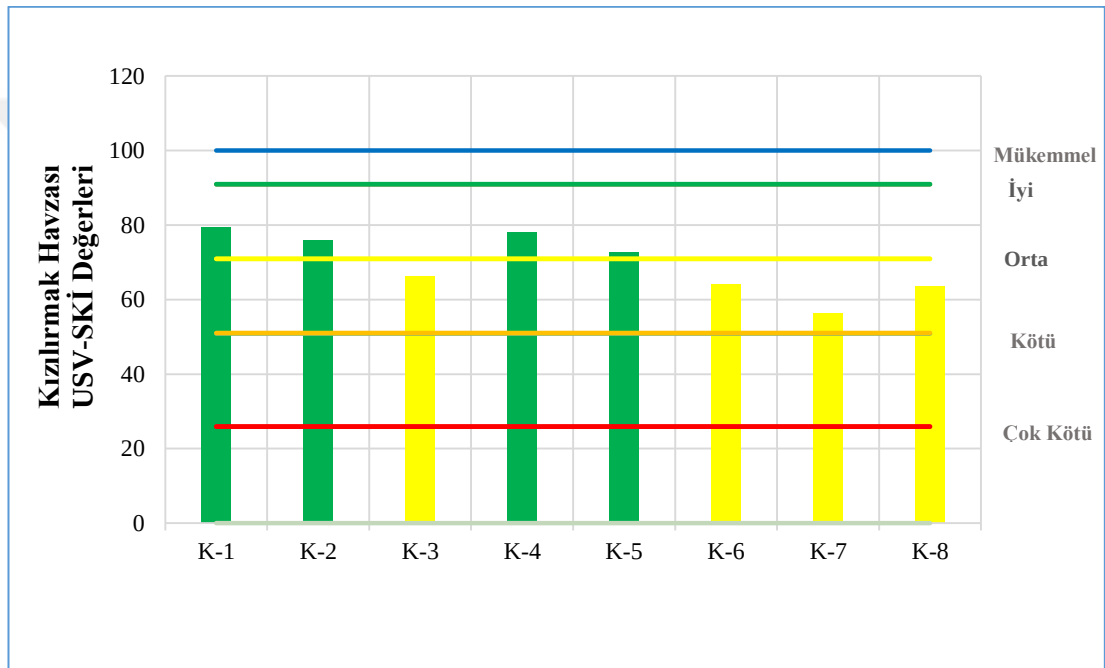
Şekil 6.57. Yeşilırmak Havzası Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks Derecelendirmesi

USV-SKİ model uygulamasında elde edilen hesaplama verilerine göre en düşük indeks hesaplama değeri (41,35) Y-20 nolu (Çorum Deresi- Ahılyas Deresi Sonrası) istasyonda ve en yüksek indeks hesaplama değeri (80,86) Y-2 nolu (Ahılyas Deresi-Yeni hayat Barajı Girişi) istasyonda kaydedilmiştir. Y-20 nolu istasyonda su kalite izleme verileri değerlendirildiğinde su kalitesinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Su alma alanının çevresinde endüstriyel faaliyet gösteren tesislerin olması, nehir kenarında bulunan Çorum ili Katı Atık vahşi depolama sahasından oluşan sızıntı ve yağmur suyu ile taşınan organik kirleticiler su kalitesinin bozulmasına ve indeks değerinin düşük hesaplanmasına katkıda bulunmaktadır. Yeşilirmak Havzasında yer alan istasyonlardaki USV su kalite indeks değerlendirmesi yapıldığında “Mükemmel” ve “Çok Kötü” kategorisine giren su kütlesi örneği bulunmazken, “İyi” su kalite derecesine sahip 7 örnekleme noktası, “Orta” su kalite derecesine sahip 24 örnekleme noktası ve “Kötü” su kalite derecesine sahip 5 örnekleme noktası mevcuttur. Genel durum değerlendirildiğinde USV SKİ hesaplama modeline göre su kalitesi “Orta” seviyededir.

Kızılırmak Havzasının Aşağı Kızılırmak Alt Havzası için su kalite indeks değerlendirmeleri Tablo 6.12’de sunulmaktadır. Sonuçlar değerlendirildiğinde en düşük indeks hesaplama değeri (56,34) K-7 nolu (Boyabat Baraj Çıkışı Köprü) istasyonda ve en yüksek hesaplama değeri (79,34) K-1 nolu (Kuzguncuk Deresi Çorum Bayat Kunduzlu Göleti Aksı) istasyonda kaydedilmiştir. Kızılırmak Havzasında yer alan istasyonlardaki USV su kalite indeks değerlendirmesi yapıldığında “Mükemmel”, “Kötü” ve “Çok Kötü” kategorisine giren su kütlesi örneği bulunmazken, “İyi” su kalite derecesine sahip 4 örnekleme noktası ve “Orta” su kalite derecesine sahip 4 örnekleme noktası mevcuttur. Genel durum değerlendirildiğinde USV SKİ hesaplama modeline göre su kalitesi “İyi” ve “Orta” dereceye sahip örnekleme noktası sayısı eşit olduğu için hesaplanan puanlara göre bir değerlendirme yapıldığında, tüm puanların ortalaması 69,50 olarak belirlenmiştir. Bu durum su kalitesinin “Orta” dereceye sahip olduğunu ifade etmektedir. Şekil 6.58’de su kalite derecelendirmesi grafik şeklinde sunulmuştur.

Tablo 6.13. Kızılırmak Havzası Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeks Değerlendirmesi

| İstasyon No | USV Su Kalite İndeks Değeri | USV Su Kalite İndeks Derecesi |
|-------------|-----------------------------|-------------------------------|
| K-1         | 79,34                       | iyi                           |
| K-2         | 75,75                       | iyi                           |
| K-3         | 66,30                       | orta                          |
| K-4         | 78,11                       | iyi                           |
| K-5         | 72,59                       | iyi                           |
| K-6         | 64,19                       | orta                          |
| K-7         | 56,34                       | orta                          |
| K-8         | 63,38                       | orta                          |



Şekil 6.58. Kızılırmak Havzası Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks Derecelendirmesi

Parween et al., 2022 yaptıkları çalışmada, 2021 yılının Nisan-Haziran ayları arasında Mahananda Nehri ana akarsuları boyunca beş noktadan su numuneleri toplanmış ve toplanan numuneler on dört yaygın su kalite göstergesi için analiz edilmiştir: pH, sıcaklık, iletkenlik, tuzluluk, bulanıklık, toplam sertlik, çözünmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, kimyasal oksijen ihtiyacı, fosfat, klorür, fekal koliform ve E. coli parametresi ile su kalitesini değerlendirmek için çalışılmıştır. Su kalitesi durumunu tespit etmek için bu çalışmada modifiye edilmiş ulusal sanitasyon vakfı (USV) su kalitesi indeksi (SKİ) modeli kullanılmış, önemli su kalitesi göstergeleri ise temel bileşenler analizi (TBA) tekniği kullanılarak belirlenmiştir. USV-SKİ'yi hesaplamak için pH ve toplam sertlik hariç tüm su kalite göstergeleri

dikkate alınmıştır. Su kalitesi göstergelerinin çoğu Hindistan Standartları yüzey suyu için kılavuz değerlerini ihlal etmektedir. Modifiye edilmiş USV-SKİ sonuçları Mahananda Nehri su kalitesinin “İyi” ile “Orta” kalitede olduğunu ve suyun yalnızca belirli koşullar altında sınırlı amaçlar için kullanımının uygun olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmanın bulgularında, kentsel baskıların nehrin su kalitesini büyük ölçüde etkilediğini öne sürülmüştür, kentsel alanlar dışındaki örnekleme yerlerinde su kalitesinin nispeten “İyi” olduğu belirlenmiştir.

Zhan et al., 2021 tarafından yapılan çalışmada, Çin’in İnci Nehri’nin Batı kolundan gelen Makao kaynak suyu ile çalışılmıştır. 2002’den 2019’a kadar alınan su kalite verileri ile su kalitesi endeksini hesaplamak için Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeksi modeli uygulanmıştır. Su kalitesi parametrelerini seçmek için Temel Bileşen Analizi (TBA) kullanılmıştır. Çalışılan yıllar arasında, Macao’daki ham suyun USV SKİ değeri 70’in üzerinde hesaplanmıştır; bu da su kalitesinin iyi veya mükemmel derecede olduğunu göstermektedir. Sonuçlar, Macao’daki ham su kalitesinin ilgili dönemde nispeten istikrarlı olduğunu ve genel olarak iyi su kalitesi olma yönünde bir artış eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Noori et al., 2019, Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeksi uygulamasına ilişkin eleştirel bir inceleme yaptıkları çalışmada, İran’daki Sefidroud Nehri 13 farklı istasyondan 1 yıl süreyle her ay toplanan numunelerde 12 adet su kalitesi parametresinin analizi yapıldığı belirtilmiştir. Çalışmada, USV-SKİ’de orijinal olmayan parametrelerin kullanılması halinde doğacak sonuçları belirlemek için 6 farklı senaryo ile USV-SKİ uygulamasına ilişkin eleştirel bir inceleme yapmayı amaçladığı bildirilmiştir. Özellikle toplam fosfor ve toplam katı madde parametreleri yerine orto fosfat ve toplam askıda katı madde parametrelerinin kullanıldığı senaryoda elde edilen sonuçlarda önemli farklılıklar olduğunu tespit etmişlerdir. Genel olarak, yağışlı mevsimde su kalitesi durumu kurak mevsimde olduğundan daha iyi olduğu, senaryoların hiçbiri yağışlı mevsimde nehir suyu kalitesini IV. sınıf (kötü su kalitesi) olarak sınıflandırmadığı ifade edilmiştir.

#### **6.5.2. Kanada Çevre Bakanlığı Su Kalite İndeksinin Değerlendirilmesi**

Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi Su Kalitesi İndeksi (KÇBK-SKİ), su kalitesini yönetmeliklere göre değerlendirmek, karmaşık su kalitesi verilerini özetlemek, uzman olmayan ve teknik bilgisi eksik olan kişiler için anlaşılır düzeyde sonuçlar sunmak için bir araç olarak kullanılmaktadır.

Çalışmada her iki nehir havzası için Kanada Çevre Bakanlığı su kalitesi indeks (KÇBK-SKİ) modeli uygulanırken 18 adet su kalite parametresi kullanılmıştır. Su Çerçeve Direktifinde ve Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde belirtilen yerüstü su kaynaklarının iyi su durumuna ulaşılması hedefleri doğrultusunda nehir havzalarındaki örnekleme istasyonlarında izlenen parametrelerin hedef değerlerinin belirlenmesinde iyi su kalite durumuna uygun sınır değer olarak Sınıf II kategorisi için belirtilen değerler alınmıştır. Tablo 6.14'te indeksin uygulanması için seçilen su kalite parametreleri ve hedef değerlerin yer aldığı ilgili yönetmelikler sunulmaktadır.

Tablo 6.14. KÇBK SKİ Hesaplamasına Dahil Edilen Parametreler ve Hedef Değerler

| Parametre                        | Hedef Değer | Referans                                                                                 |
|----------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| İletkenlik (µS/cm)               | 1000        |                                                                                          |
| Çözülmüş Oksijen (mg/L)          | 6           |                                                                                          |
| Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L) | 50          |                                                                                          |
| Toplam Fosfor (mg/L)             | 0,2         | Yerüstü Su Kalitesi<br>Yönetmeliği, 2012                                                 |
| Toplam Azot (mg/L)               | 11,5        |                                                                                          |
| Amonyum azotu (mg/L)             | 1           |                                                                                          |
| Toplam Kjeldahl Azotu (mg/L)     | 1,5         |                                                                                          |
| Mangan (mg/L)                    | 500         |                                                                                          |
| Selenyum (mg/L)                  | 15          |                                                                                          |
| Klorür (mg/L)                    | 250         |                                                                                          |
| Bakır (µg/L)                     | 2000        |                                                                                          |
| Kurşun (µg/L)                    | 10          | İçme Suyu Temin Edilen<br>Suların Kalitesi ve<br>Arıtılması<br>Hakkında Yönetmelik, 2019 |
| Nikel (µg/L)                     | 20          |                                                                                          |
| Demir (µg/L)                     | 200         |                                                                                          |
| Çinko (µg/L)                     | 3000        |                                                                                          |
| Alüminyum (µg/L)                 | 200         |                                                                                          |
| Krom (µg/L)                      | 50          |                                                                                          |
| Renk (Pt/Co)                     | 15          |                                                                                          |

KÇBK indeks modeli uygulanırken en az dört mevsimsel döneme ait ölçüm değeri kullanılmalıdır. Bu nedenle Kızılırmak ve Yeşilirmak nehir havzalarında on iki aylık izleme çalışmalarından elde edilen veriler kullanılarak KÇBK su kalite indeks hesaplaması yapılmıştır.

Parametrelerin, yönetmeliklerin ve hedef değerlerin belirlenmesinden sonra Tablo 6.14-6.16'da görüldüğü gibi her iki nehir havzasına ait F1, F2 ve F3 değerleri hesaplanmıştır. Toplam test sayısı bazı istasyonlarda düşüktür, bunun sebebi,

DSİ'nin bazı izleme dönemlerinde örnek almamasından kaynaklanmaktadır. Bu indeks modelinin eksik verilere toleranslı olması hesaplamalarda hataya yol açılmamasını sağlamaktadır.

Yeşilırmak Havzasına ait F1, F2 ve F3 değerleri Tablo 6.15'te görülmektedir. Havzadaki su kalitesi derecelendirmesi Tablo 6.16' da ve Şekil 6.59'da görülmektedir.

Tablo 6.15. Yeşilırmak Havzası KÇBK İndeks Modelinde Hesaplanan F Fakörleri

| İstasyon No | F1   | F2   | F3    | İstasyon No | F1   | F2   | F3     |
|-------------|------|------|-------|-------------|------|------|--------|
| Y-1         | 0,75 | 0,37 | 57,40 | Y-19        | 0,60 | 0,84 | 99,99  |
| Y-2         | 0,50 | 0,28 | 26,62 | Y-20        | 0,60 | 0,88 | 100,00 |
| Y-3         | 0,30 | 0,23 | 23,53 | Y-21        | 0,60 | 0,71 | 99,99  |
| Y-4         | 0,55 | 0,36 | 45,76 | Y-22        | 0,60 | 0,88 | 99,99  |
| Y-5         | 0,15 | 0,05 | 8,26  | Y-23        | 0,20 | 0,33 | 19,76  |
| Y-6         | 0,65 | 0,44 | 95,28 | Y-24        | 0,40 | 0,54 | 83,48  |
| Y-7         | 0,15 | 0,03 | 16,44 | Y-25        | 0,20 | 0,32 | 12,56  |
| Y-8         | 0,25 | 0,16 | 9,49  | Y-26        | 0,25 | 0,31 | 14,79  |
| Y-9         | 0,30 | 0,09 | 16,15 | Y-27        | 0,15 | 0,12 | 11,03  |
| Y-10        | 0,20 | 0,14 | 12,24 | Y-28        | 0,15 | 0,25 | 7,51   |
| Y-11        | 0,15 | 0,05 | 1,43  | Y-29        | 0,25 | 0,40 | 33,38  |
| Y-12        | 0,25 | 0,14 | 38,32 | Y-30        | 0,25 | 0,26 | 58,92  |
| Y-13        | 0,25 | 0,09 | 51,18 | Y-31        | 0,10 | 0,16 | 4,39   |
| Y-14        | 0,40 | 0,30 | 41,32 | Y-32        | 0,30 | 0,26 | 52,91  |
| Y-15        | 0,75 | 0,37 | 57,40 | Y-33        | 0,05 | 0,04 | 1,71   |
| Y-16        | 0,50 | 0,28 | 26,62 | Y-34        | 0,10 | 0,12 | 2,54   |
| Y-17        | 0,30 | 0,23 | 23,53 | Y-35        | 0,15 | 0,11 | 2,18   |
| Y-18        | 0,55 | 0,36 | 45,76 | Y-36        | 0,17 | 0,23 | 7,51   |

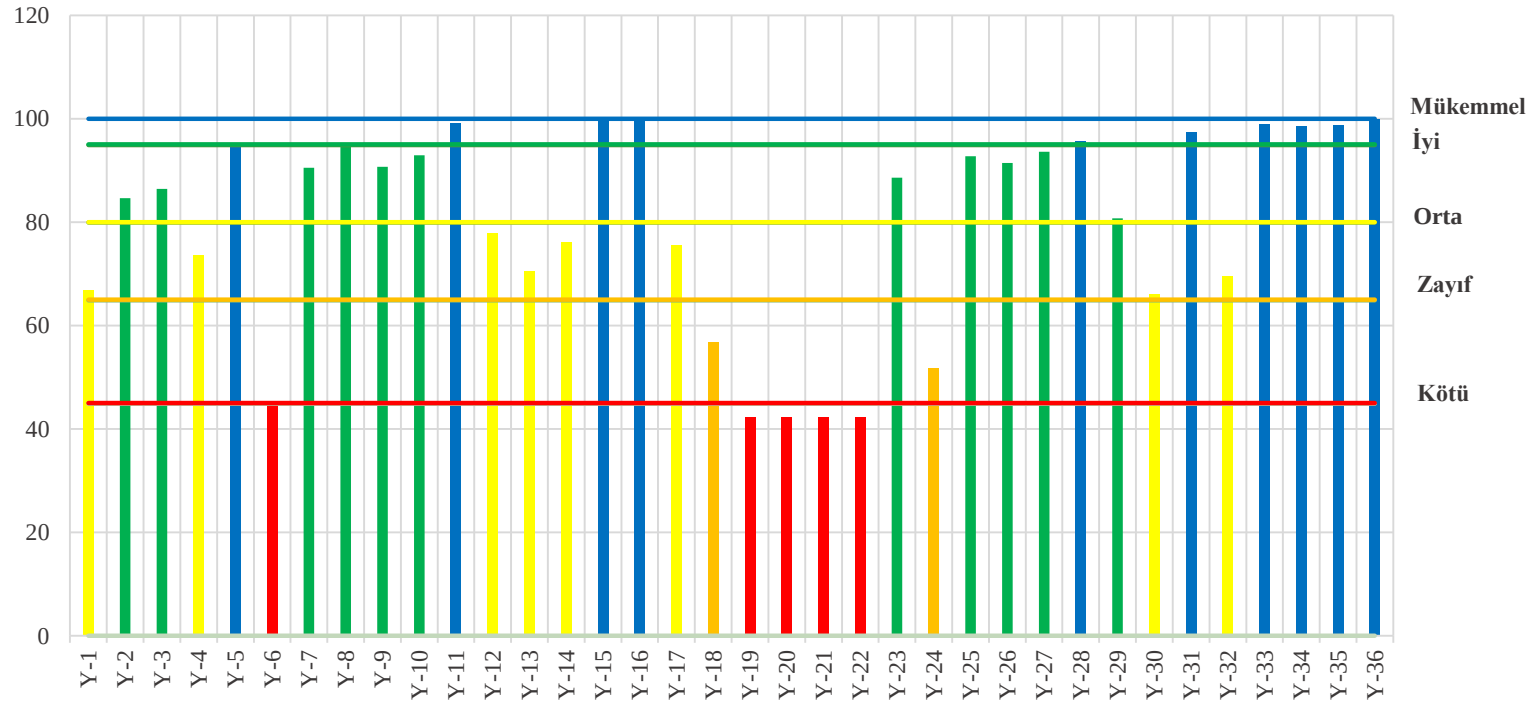
Tablo 6.16. Yeşilırmak Havzası Kanada Çevre Bakanlığı Su Kalitesi İndeks Değerlendirmesi

| İstasyon No | KÇBK Su Kalite İndeks Değeri | KÇBK Su Kalite İndeks Derecesi | İstasyon No | KÇBK Su Kalite İndeks Değeri | KÇBK Su Kalite İndeks Derecesi |
|-------------|------------------------------|--------------------------------|-------------|------------------------------|--------------------------------|
| Y-1         | 66,9                         | Orta                           | Y-19        | 42,3                         | Kötü                           |
| Y-2         | 84,6                         | İyi                            | Y-20        | 40,7                         | Kötü                           |
| Y-3         | 86,4                         | İyi                            | Y-21        | 44,1                         | Kötü                           |
| Y-4         | 73,6                         | Orta                           | Y-22        | 43,9                         | Kötü                           |
| Y-5         | 95,2                         | Mükemmel                       | Y-23        | 88,6                         | İyi                            |

|      |      |          |      |      |          |
|------|------|----------|------|------|----------|
| Y-6  | 45,0 | Kötü     | Y-24 | 51,8 | Zayıf    |
| Y-7  | 90,5 | İyi      | Y-25 | 92,7 | İyi      |
| Y-8  | 94,5 | İyi      | Y-26 | 91,5 | İyi      |
| Y-9  | 90,7 | İyi      | Y-27 | 93,6 | İyi      |
| Y-10 | 92,9 | İyi      | Y-28 | 95,7 | Mükemmel |
| Y-11 | 99,2 | Mükemmel | Y-29 | 80,7 | İyi      |
| Y-12 | 77,9 | Orta     | Y-30 | 66,0 | Orta     |
| Y-13 | 70,5 | Orta     | Y-31 | 97,5 | Mükemmel |
| Y-14 | 76,1 | Orta     | Y-32 | 69,5 | Orta     |
| Y-15 | 99,5 | Mükemmel | Y-33 | 99,0 | Mükemmel |
| Y-16 | 99,8 | Mükemmel | Y-34 | 98,5 | Mükemmel |
| Y-17 | 75,6 | Orta     | Y-35 | 98,7 | Mükemmel |
| Y-18 | 56,8 | Zayıf    | Y-36 | 96,5 | Mükemmel |

Hedefleri karşılamayan parametre sayısı, başarısız test sayısı ve sapmalar toplamı için elde edilen değerler incelendiğinde en yüksek değer Y-16 (Dekseci Deresi-Gökçe Mevki) nolu izleme noktasında elde edilmiştir. Bu izleme noktasında hedefleri karşılamayan değer bulunmamaktadır, tüm izlenen parametreler yönetmelik hedef değerlerin altında seyretmiştir. En düşük hesaplanan indeks değeri Y-20 (Çorum Deresi-Ahılyas Deresi Sonrası) nolu izleme noktasında elde edilmiştir. Bu izleme noktasında; renk, iletkenlik, kimyasal oksijen ihtiyacı, çözünmüş oksijen, amonyum azotu, kjeldhal azotu, toplam azot ve demir parametresi için hedef değer dışında değerler ölçülmüştür. Yeşilirmak Havzasında yer alan istasyonlardaki KÇBK su kalite indeks değerlendirmesi yapıldığında “Mükemmel” su kalite derecesine sahip 10 izleme noktası, “İyi” su kalite derecesine sahip 11 izleme noktası, “Orta” su kalite derecesine sahip 8 izleme noktası, “Zayıf” su kalite derecesine sahip 2 izleme noktası ve “Çok Kötü” su kalite derecesine sahip 5 izleme noktası mevcuttur. Genel durum değerlendirildiğinde KÇBK SKİ hesaplama modeline göre su kalitesi “Orta” seviyededir.

**Yeşilırmak Havzası KÇBK-  
SKİ Değerleri**



Şekil 6.59. Yeşilırmak Havzası Kanada Çevre Bakanlığı Su Kalite İndeks Derecelendirmesi

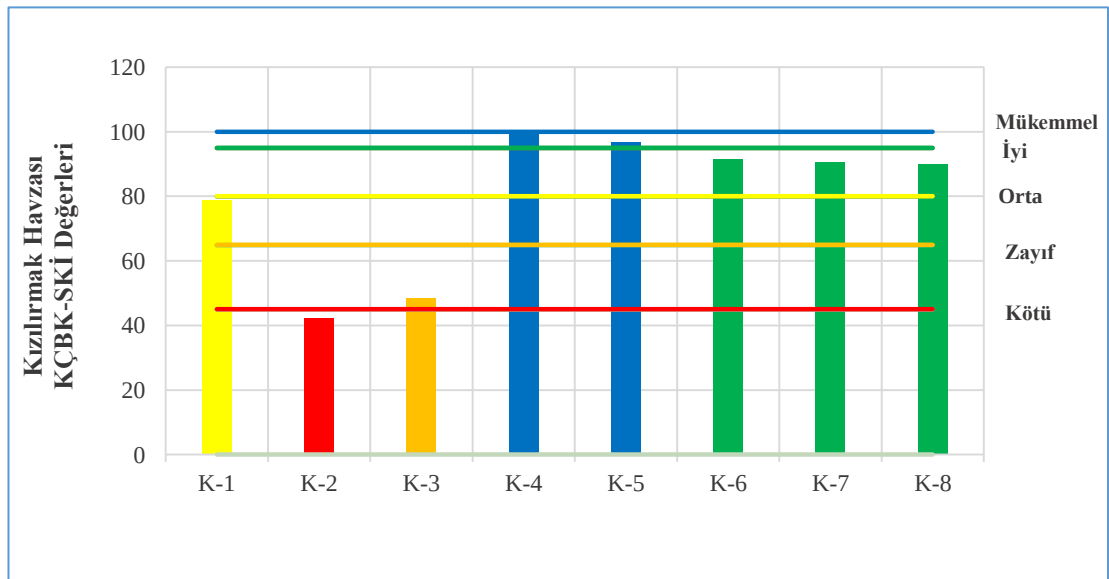
Kızılırmak Havzasına ait F1, F2 ve F3 faktör değerleri Tablo 6.17’de verilmektedir. Havzadaki su kalitesi derecelendirmesi Tablo 6.18’de ve Şekil 6.60’da görülmektedir.

Tablo 6.17. Kızılırmak Havzası KÇBK İndeks Modelinde Hesaplanan F Fakörleri

| İstasyon No | F1   | F2   | F3    | İstasyon No | F1   | F2   | F3    |
|-------------|------|------|-------|-------------|------|------|-------|
| K-1         | 0,45 | 0,25 | 36,55 | K-5         | 0,20 | 0,10 | 5,42  |
| K-2         | 0,45 | 0,25 | 99,87 | K-6         | 0,15 | 0,16 | 14,64 |
| K-3         | 0,20 | 0,04 | 89,21 | K-7         | 0,25 | 0,50 | 16,22 |
| K-4         | 0,15 | 0,05 | 1,28  | K-8         | 0,20 | 0,22 | 17,48 |

Tablo 6.18. Kızılırmak Havzası Kanada Çevre Bakanlığı Su Kalitesi İndeks Değerlendirmesi

| İstasyon No | KÇBK Su Kalite İndeks Değeri | KÇBK Su Kalite İndeks Derecesi |
|-------------|------------------------------|--------------------------------|
| K-1         | 78,9                         | Orta                           |
| K-2         | 42,3                         | Kötü                           |
| K-3         | 48,5                         | Zayıf                          |
| K-4         | 99,3                         | Mükemmel                       |
| K-5         | 96,9                         | Mükemmel                       |
| K-6         | 91,5                         | İyi                            |
| K-7         | 90,6                         | İyi                            |
| K-8         | 89,9                         | İyi                            |



Şekil 6.60. Kızılırmak Havzası Kanada Çevre Bakanlığı Su Kalite İndeks Derecelendirmesi

Kızılırmak nehir havzasında izleme noktalarında hedefleri karşılamayan parametre sayısı ve sapmalar toplamı için elde edilen değerler incelendiğinde en yüksek değerler K-2 (Budaközü Çayı Sungurlu Barajı Aks Yeri) ve K-3 (Taşkelik Çayı Alaçam Taşkelik Göleti Aks Yeri) nolu istasyonlarda kaydedilmiştir. İstasyonlardaki su kalite derecelendirmesi sırasıyla “Kötü” ve “Zayıf” olarak kaydedilmiştir. Bu istasyonlarda hedefleri ciddi oranda karşılamayan parametreler arasında iletkenlik, amonyum azotu, renk ve demir yer almaktadır. En düşük sapmalar toplamının elde edildiği belli başlıca istasyonlar ise K-6 (Kızılırmak Derbent Barajı Çıkışı), K-7 (Boyabat Baraj Çıkışı Köprü) ve K-8 (Gökırmak-Boyabat Girişi) nolu noktalardır. Bu istasyonların üçünde de su kalitesi “İyi” olarak derecelendirilmiştir. K-6, K-7 ve K-8 nolu istasyonlarda sadece iletkenlik ve renk parametresi bazı izleme dönemlerinde hedef değerden düşük seviyelerde sapma göstermiştir.

Kızılırmak Havzasında yer alan istasyonlardaki KÇBK su kalite indeks değerlendirmesi yapıldığında “Mükemmel” su kalite derecesine sahip 2 izleme noktası, “İyi” su kalite derecesine sahip 3 izleme noktası, “Orta” su kalite derecesine sahip 1 izleme noktası, “Zayıf” su kalite derecesine sahip 1 izleme noktası ve “Çok Kötü” su kalite derecesine sahip 1 izleme noktası mevcuttur. Genel durum değerlendirildiğinde KÇBK SKİ hesaplama modeline göre su kalitesi “Orta” seviyededir.

Kaur et al., 2021 yaptıkları çalışmada Hindistan’ın ekolojik olarak daha önceden hiç değerlendirilmemiş bölgesi olan Rajasthan’da Haziran 2015-Mayıs 2017 yılları arasında toplanan su kalite örnekleri ile gerçekleştirilmiştir. Yüzey suyu örnekleri yaz, muson sonrası mevsimsel dönemlerde iki tekrarlı olacak şekilde toplanmıştır. Fizikokimyasal izleme parametreleri; pH, toplam çözünmüş katı madde, klorür, sülfat, fosfat, nitrat, kalsiyum ve demir olmak üzere toplam 8 parametre izlenmiştir. Parametreler arasındaki ilişki pearson korelasyon analizi kullanılarak analiz edilmiş ve bu parametrelerden Kanada Çevre Bakanları Konseyi Su Kalite İndeksi (KÇBK-SKİ) hesaplanmıştır. Çalışma, bölgedeki suyun hafif alkali (7,27-7,63) olduğunu ortaya koymuştur. Suyun fizikokimyasal parametrelerinin çoğu, toplam çözünmüş katı madde ve fosfat hariç, Hindistan Standartları’nın kabul edilebilir sınır değer aralığında bulunmuştur. KÇBK-SKİ değerinin orta düzeyde

olduğu ve bölgedeki yaban hayatı için içme amaçlı kullanıma uygun olduğunu saptanmıştır.

Gikas et al., 2020 bu çalışmada, Yunanistan Çevre ve Enerji Bakanlığı tarafından önerilen Su Çerçeve Direktifi (SÇD) metodolojisi ile Kanada Çevre Bakanları Konseyi Su Kalitesi İndeksi, büyük bir nehrin kimyasal durumunu değerlendirmek için karşılaştırmalı olarak uygulanmıştır. Su kalitesi parametreleri 16 noktada, Mayıs 2008 ve Mayıs 2009 arasındaki dönemde aylık olarak izlenmiştir. Sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen, iletkenlik, askıda katı madde, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, kimyasal oksijen ihtiyacı, nitir, nitrat, amonyum azotu, toplam kjeldahl azotu, orto-fosfat, toplam fosfor, klorofil-a gibi 14 fizikokimyasal parametre ile kadmiyum, kurşun, civa, nikel, krom, bakır ve çinko gibi 7 ağır metal olmak üzere toplam 21 parametre AB Direktifi Ek II’de listelenen 33 öncelikli maddenin belirlenmesi için analiz edilmiştir. Sonuçlar, fizikokimyasal parametrelerin doğal aralıktta olduğunu göstermiştir. Ölçülen ağır metallerin ortalama konsantrasyonunun Dünya Sağlık Örgütü’nün içme suyu için belirlenen sınırlarını aşmadığı tespit edilmiştir. Su kalite indeks değerlendirmesi, Yunanistan Çevre ve Enerji Bakanlığı tarafından önerilen SÇD metodolojisine göre nehir suyu “İyi” kalite sınıfındayken, KÇBK-SKİ’ye göre nehir kalitesi “Zayıf” ile “İyi” kategorisi arasında değişmektedir. Çalışmada, KÇBK su kalite indek modelinin daha katı olduğu ancak kullanım için uygun bir indeks modeli olabileceği öngörülmüştür.

Al-Janabi et al., 2012 bu çalışma, Irak’ın Bağdat şehrinde Dicle Nehri boyunca yer alan 3 istasyon için Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi Su Kalitesi İndeksi’nin (KÇBK-SKİ) uygulanmasını açıklamaktadır. Saha çalışması Şubat-Aralık 2010 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. KÇBK-SKİ, on bir su kalitesi parametresi (pH değeri, toplam çözünmüş katı madde, kalsiyum, toplam alkalinite, amonyak, nitrat, nitrit, bulanıklık, kurşun krom, demir) kullanılarak uygulanmıştır. İndeks hesaplaması sonucu elde edilen sonuçlara göre, Dicle Nehri’nin su kalite indeks değerleri 37-42 arasında değişmektedir ve bu da nehrin çeşitli kentsel kirletici kaynakların etkisi nedeniyle en kötü kaliteye sahip olduğunu göstermektedir. Bu çalışmanın sonuçları, uygun yönetim için nehrin izlenmesine yönelik ciddi bir eylemde bulunulması gerektiğini vurgulamaktadır.

### 6.5.3. Bulanık Mantık Modeli Su Kalite İndeksinin Değerlendirilmesi

Bulanık modelleri, doğrusal olmayan verilerle başa çıkmak için daha yüksek doğruluk, sağlamlık, güvenilirlik, maliyet etkinliği, problem çözme yeteneği, karar verme yeteneği, verimlilik ve etkinlik nedeniyle bu tür verileri ele almak için dikkate değer bir başarı ve üstünlük göstermektedir. Yapay zeka modelleri nehir sularının izlenmesi, yönetimi, sürdürülebilirliği ve politika oluşturulması için mükemmel araçlardır (Tung & Yaseen, 2020).

Bulanık mantık sonuç çıkarım sisteminin değerlendirilmesi için MATLAB®(2021) paket programının bulanık mantık araç kutusu kullanılmıştır. Bulanık mantığın hesaplamasında model olarak Mandani matematiksel modeli kullanılmıştır.

#### 6.5.3.1. Kızılırmak Havzası Bulanık Mantık Modeli Su Kalite İndeksi

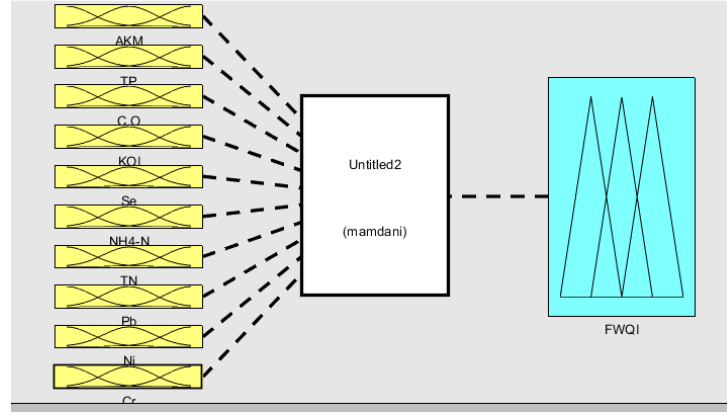
Kızılırmak Havzası için bulanık mantık tabanlı su kalite indeks değerleri tüm izleme noktaları için hesaplanmıştır. Diğer indeks modellerinden farklı olarak bu modelde bütün koşullar uygulayıcı tarafından belirlenmektedir. Çalışma havzasında kirliliği temsil eden parametreler temel bileşen analizi ile tespit edilmiştir. Bu analiz çıktılarına göre nehir havzasındaki izlenmesi önerilen parametreler ile bulanık tabanlı su kalite indeksi hesaplanmıştır.

Temel bileşen analizi sonuçlarına göre faktör ortak varyans değere 1'e en yakın olan on değişken (AKM, Ç.O, KOI, TP, TN, NH<sub>4</sub>-N, Se, Pb, Ni ve Cr) örnekleme noktalarındaki kirliliği temsil eden parametreler olarak kabul edilmiştir. Bu değerlendirmeden yola çıkarak Kızılırmak Havzası bulanık tabanlı su kalite indeksi modeli oluşturulmuş ve uygulanmıştır. Aşağıdaki adımlara göre model yürütülmüştür.

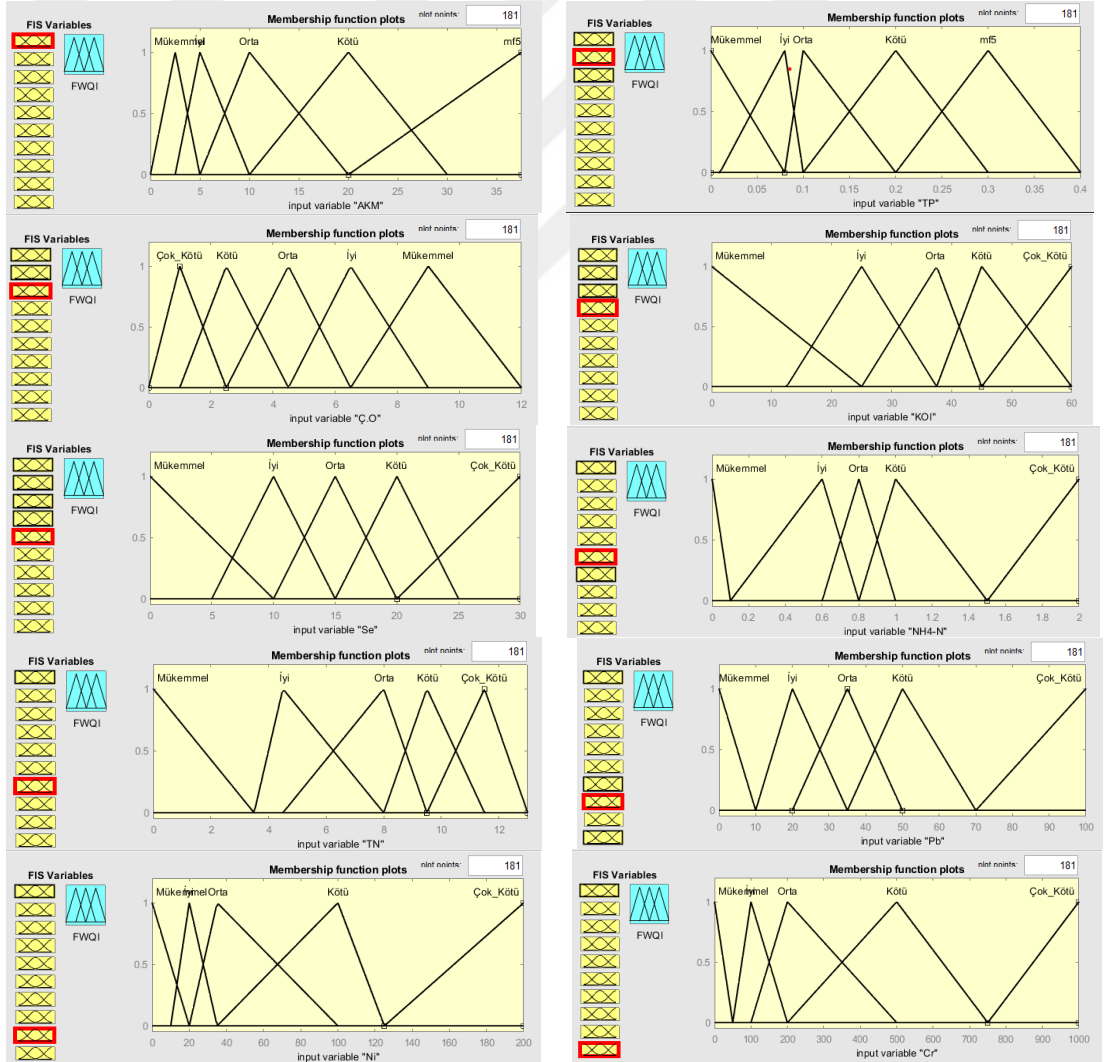
Birinci Adım;

Bulanıklaştırma: Modelin ilk adımını oluşturur ve girilen kesin değerler üyelik fonksiyonları kullanılarak dilsel (sözel) ifadelere dönüştürülür. İndeks hesaplamasında kullanılan 10 parametre için üçgen üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Her bir girdi (parametre) değişkeni için üçgen üyelik fonksiyonunda üyelik dereceleri tanımlanmıştır. Bu çalışmada “mükemmel”, “iyi”, “orta”, “kötü” ve “çok kötü” olmak üzere beş tane üyelik derecesi tanımlanmıştır. Şekil 6.61'de girdi-çıktı

değişkenleri ve Şekil 6.62’de üyelik fonksiyonları ve üyelik dereceleri gösterilmektedir.



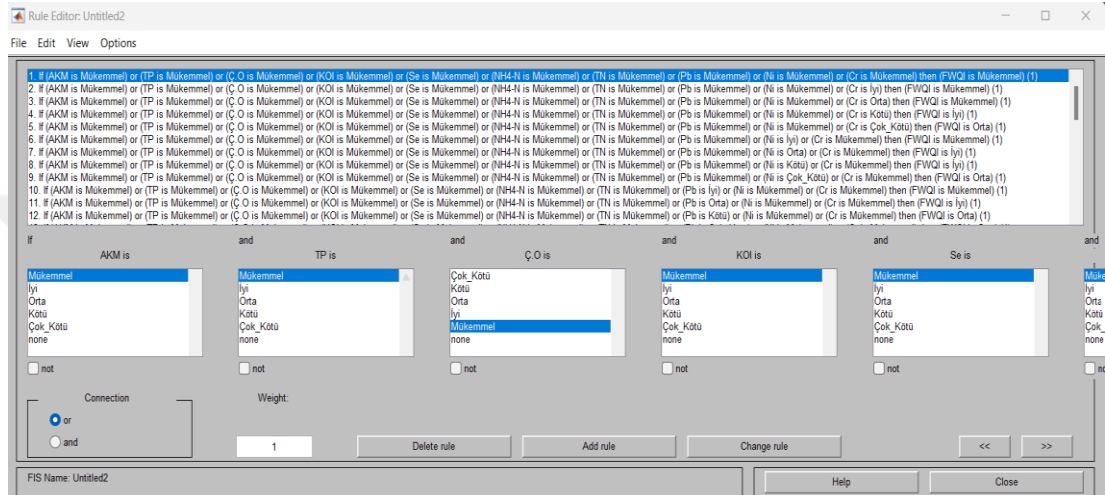
Şekil 6.61. Kızılırmak Girdi-Çıktı Değişkenleri



Şekil 6.62. Kızılırmak Üyelik Fonksiyonları ve Üyelik Dereceleri

## İkinci Adım;

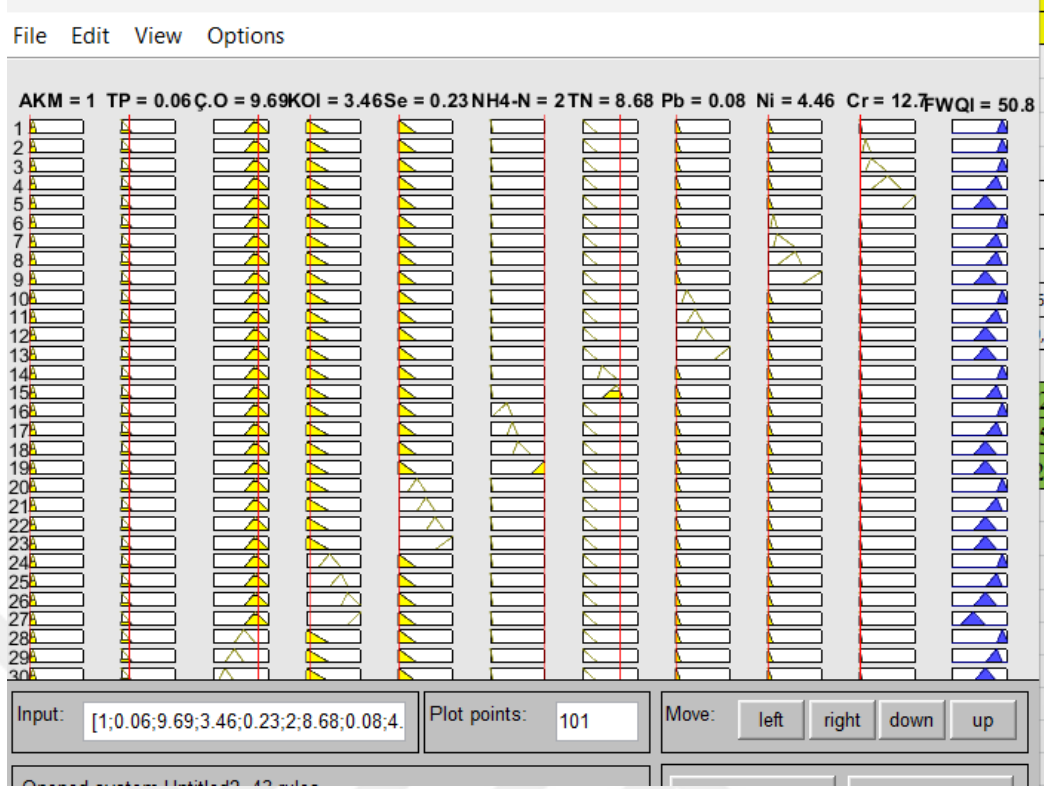
Çıkarım Mekanizması: Modelin ikinci adımını oluşturur, bulanıklaştırıcıdan gelen bulanık değerler (üyelik dereceleri) burada oluşturulan kurallarla birlikte kullanılarak bulanık çıktılar elde edilir. Kural tabanı “eğer....ise...” şeklinde dilsel terimlerden kurulmuş ve girdi-çıkıtıyı birbirine bağlayan koşul cümleleridir. Bulanık çıkarım mekanizmasını uygulamak için toplam 495 kural oluşturulmuştur. Şekil 6.63’te girdi değişkenleri ile oluşturulmuş kural tabanı gösterilmektedir.



Şekil 6.63. Kızılırmak Kural Tabanı

## Üçüncü Adım:

Durulaştırma: Modelin son adımını oluşturur. Çıkarım mekanizmasından elde edilen değerler bulanık çıktılardır ve kullanılabilmesi için kesin değerlere dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu adımda bulanık değerler, yani dilsel ifadeler sayısal verilere dönüştürülmektedir. Farklı durulaştırma metotları mevcuttur, çalışmada yaygın olarak kullanılan centroid (ağırlık merkezi) yöntemi uygulanmıştır. Şekil 6.64’te durulaştırma adımı çıktıları görülmektedir. Burada “input” bölümüne hesaplanması istenen değer girilerek bulanık su kalite indeks değerleri elde edilmektedir.



Şekil 6.64. Kızılırmak Bulanık Mantık Durulaştırma Adımı

Bulanık tabanlı su kalite indeks hesaplamasında üyelik dereceleri belirlenirken yönetmelik (YSKY) değerleri referans alınmıştır. Bazı örnekleme noktalarında belli dönemlerde elde edilen ölçüm sonuçları yönetmelik sınır değerlerini çok fazla aşmaktadır. Eğer bu gözlemlerden sadece hedef değerlere göre üyelik dereceleri belirlenirse girilen değer üyelik derecelerinde tanımlı olan en büyük-en küçük değeri aşmayacak şekilde modelde değiştirilmektedir. Bu nedenle üyelik dereceleri belirlenirken ölçüm sonuçları da dikkate alınmalıdır.

Çıktı;

Bulanık tabanlı hesaplama modelinden hedeflenen çıktıyı ifade etmektedir. Bulanık su kalite indeksinin (FWQI) geliştirilmesi için beş girdi parametresi kullanılmıştır. Her bir girdi parametresi “çok kötü”, “kötü”, “orta”, “iyi” ve “mükemmel” olmak üzere beş su kalitesi sınıfına ayrılmıştır. Üçgen üyelik fonksiyonu ve su kalite sınıfları değer aralıklarını ifade eden üyelik dereceleri girilmiştir. Model çıktıları ile derecelendirme yapılabilmesi için literatürde yapılan çalışmalar referans alınarak (Nayak et al., 2020) kriter değerler belirlenmiştir. Tablo

6.19’da bulanık tabanlı su kalite indeksi için belirlenen kriter değerler ve derecelendirmesi verilmektedir.

Tablo 6.19. Bulanık Su Kalite İndeksi Derecelendirme Değerleri

| Su Kalite Değeri | Su Kalite Derecelendirmesi |  |
|------------------|----------------------------|--|
| 85 – 100         | Mükemmel                   |  |
| 70 – 85          | İyi                        |  |
| 48 – 70          | Orta                       |  |
| 27 – 48          | Kötü                       |  |
| 0 – 27           | Çok Kötü                   |  |

Tablo 6.20’de Kızılırmak Havzası için modellen elde edilen bulanık tabanlı su kalite indeks değerleri verilmektedir.

Tablo 6.20. Kızılırmak Havzası Bulanık Tabanlı Su Kalite İndeksi

| İstasyon No | Bulanık Su Kalite İndeksi Değeri | Bulanık Su Kalite İndeks Derecesi |
|-------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| K-1         | 50,8                             | Orta                              |
| K-2         | 49,4                             | Orta                              |
| K-3         | 47,2                             | Kötü                              |
| K-4         | 70,1                             | İyi                               |
| K-5         | 70,8                             | İyi                               |
| K-6         | 50,4                             | Orta                              |
| K-7         | 59,6                             | Orta                              |
| K-8         | 54,1                             | Orta                              |

Kızılırmak Havzasının Aşağı Kızılırmak Alt Havzası için bulanık tabanlı su kalite indeks değerlendirmeleri Tablo 6.20’de sunulmaktadır. Sonuçlar değerlendirildiğinde en düşük indeks hesaplama değeri (47,2) K-3 nolu (Taşkelik Çayı-Alaçam Taşkelik Göleti Aks Yeri) istasyonda ve en yüksek hesaplama değeri (70,8) K-5 nolu (Bakırçay Barajı Aks Yeri) istasyonda kaydedilmiştir. Kızılırmak Havzasında yer alan istasyonlardaki bulanık su kalite indeks değerlendirmesi yapıldığında “Mükemmel” ve “Çok Kötü” kategorisine giren su kütlesi örneği bulunmazken, “İyi” su kalite derecesine sahip 2 örnekleme noktası ve “Orta” su kalite derecesine sahip 5 örnekleme noktası ve “Kötü” kategorisine giren 1 örnekleme noktası mevcuttur. Genel durum değerlendirildiğinde Bulanık mantık modeline göre su kalitesi “Orta” dereceye sahiptir.

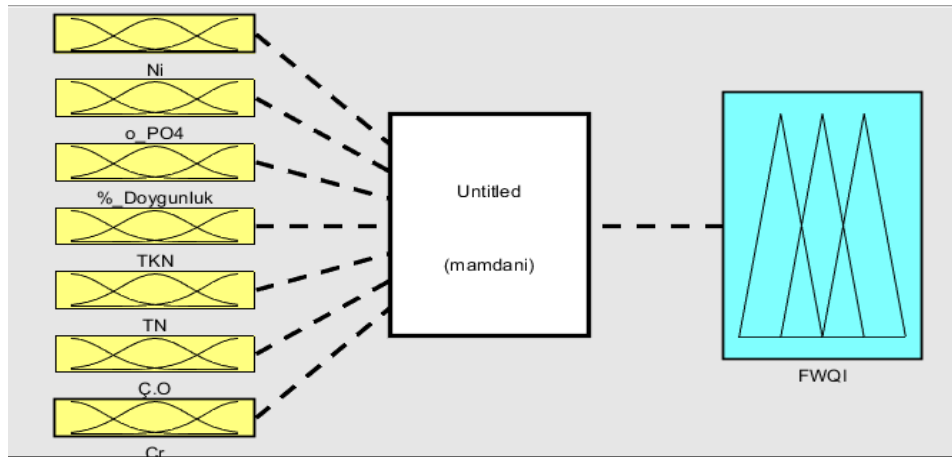
### 6.5.3.2. Yeşilirmak Havzası Bulanık Mantık Modeli Su Kalite İndeksi

Yeşilirmak Havzası için bulanık mantık tabanlı su kalite indeks değerleri tüm izleme noktaları için hesaplanmıştır. Çalışma havzasında kirliliği temsil eden parametreler temel bileşen analizi ile tespit edilmiştir. Bu analiz çıktılarına göre nehir havzasındaki izlenmesi önerilen parametreler ile bulanık tabanlı su kalite indeksi hesaplanmıştır.

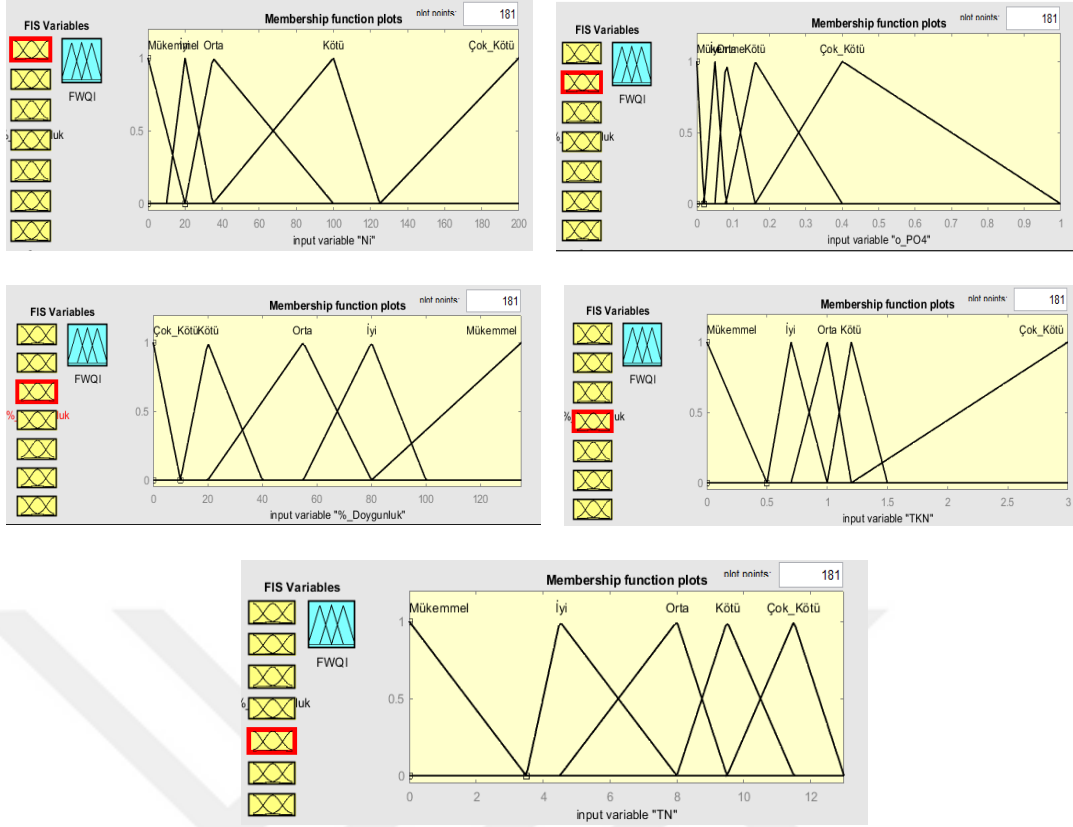
Temel bileşen analizi sonuçlarına göre faktör ortak varyans değere 1'e en yakın olan yedi değişken (Ç.O, % Doygunluk, oPO<sub>4</sub>, TN, TKN, Ni ve Cr) örnekleme noktalarındaki kirliliği temsil eden parametreler olarak kabul edilmiştir. Bu değerlendirmeden yola çıkarak Yeşilirmak Havzası bulanık tabanlı su kalite indeksi modeli oluşturulmuş ve uygulanmıştır. Aşağıdaki adımlara göre model yürütülmüştür.

Birinci Adım;

Bulanıklaştırma: İndeks hesaplamasında kullanılan 7 parametre için üçgen üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Her bir girdi (parametre) değişkeni için üçgen üyelik fonksiyonunda üyelik dereceleri tanımlanmıştır. Bu çalışmada “mükemmel”, “iyi”, “orta”, “kötü” ve “çok kötü” olmak üzere beş tane üyelik derecesi tanımlanmıştır. Şekil 6.65'de girdi-çıkı değişkenleri ve Şekil 6.66'da üyelik fonksiyonları ve üyelik dereceleri gösterilmektedir.



Şekil 6.65. Yeşilirmak Girdi-Çıktı Değişkenleri



Şekil 6.66. Yeşilirmak Üyelik Fonksiyonları ve Üyelik Dereceleri

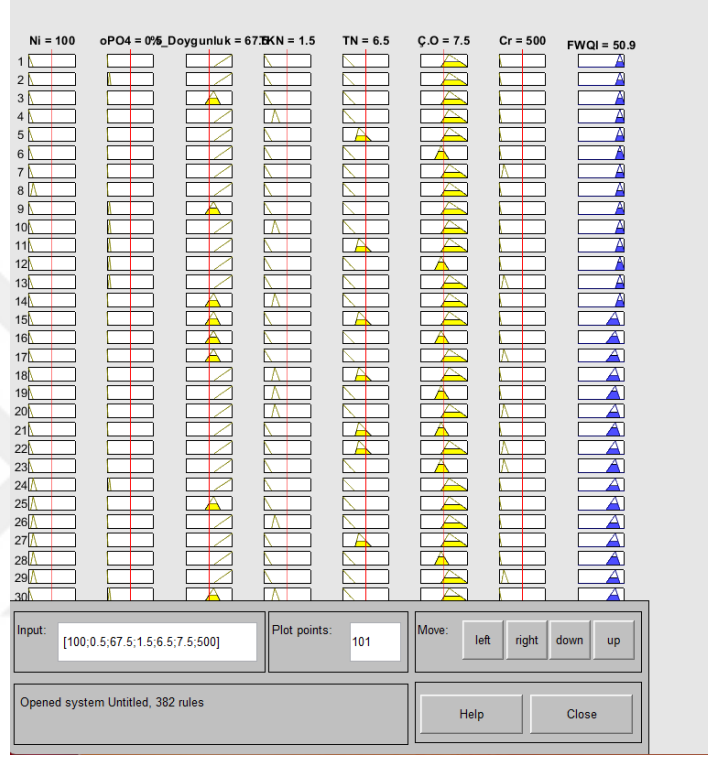
İkinci Adım;

Çıkarım Mekanizması: Bulanık çıkarım mekanizmasını uygulamak için toplam 382 kural oluşturulmuştur. Şekil 6.67’de girdi değişkenleri ile oluşturulmuş kural tabanı gösterilmektedir.

Şekil 6.67. Yeşilirmak Kural Tabanı

### Üçüncü Adım:

**Durulaştırma:** Bu adımda bulanık değerler sayısal verilere dönüştürülmektedir. Centroid (ağırlık merkezi) yöntemi uygulanarak durulaştırma adımı tamamlanmıştır. Şekil 6.68’de durulaştırma adımı çıktıları görülmektedir. Burada “input” bölümüne hesaplanması istenen değer girilerek bulanık su kalite indeks değerleri elde edilmektedir.



Şekil 6.68. Yeşilirmak Bulanık Mantık Durulaştırma Adımı

### Çıktı;

Bulanık su kalite indeksinin (B-SKİ) geliştirilmesi için beş girdi parametresi kullanılmıştır. Her bir girdi parametresi “çok kötü”, “kötü”, “orta”, “iyi” ve “mükemmel” olmak üzere beş su kalitesi sınıfına ayrılmıştır. Üçgen üyelik fonksiyonu ve su kalite sınıfları değer aralıklarını ifade eden üyelik dereceleri girilmiştir. Model çıktıları ile derecelendirme yapılabilmesi için Tablo 6.19’dan yararlanılmıştır. Tablo 6.21’de Yeşilirmak Havzası için modellen elde edilen bulanık tabanlı su kalite indeks değerleri verilmektedir.

Tablo 6.21. Yeşilırmak Havzası Bulanık Tabanlı Su Kalite İndeksi

| İstasyon No | Bulanık Su Kalite İndeksi | Bulanık Su Kalite İndeksi Derecesi | İstasyon No | Bulanık Su Kalite İndeksi | Bulanık Su Kalite İndeksi Derecesi |
|-------------|---------------------------|------------------------------------|-------------|---------------------------|------------------------------------|
| Y-1         | 50,8                      | Orta                               | Y-19        | 47,2                      | Kötü                               |
| Y-2         | 59,6                      | Orta                               | Y-20        | 47,7                      | Kötü                               |
| Y-3         | 59,5                      | Orta                               | Y-21        | 47,1                      | Kötü                               |
| Y-4         | 54,7                      | Orta                               | Y-22        | 46,3                      | Kötü                               |
| Y-5         | 51,3                      | Orta                               | Y-23        | 50,4                      | Orta                               |
| Y-6         | 45,8                      | Kötü                               | Y-24        | 50,9                      | Orta                               |
| Y-7         | 50,7                      | Orta                               | Y-25        | 50,7                      | Orta                               |
| Y-8         | 57,6                      | Orta                               | Y-26        | 51,3                      | Orta                               |
| Y-9         | 57,1                      | Orta                               | Y-27        | 52,0                      | Orta                               |
| Y-10        | 72,2                      | İyi                                | Y-28        | 54,8                      | Orta                               |
| Y-11        | 59,1                      | Orta                               | Y-29        | 58,9                      | Orta                               |
| Y-12        | 70,9                      | İyi                                | Y-30        | 59,1                      | Orta                               |
| Y-13        | 58,4                      | Orta                               | Y-31        | 54,3                      | Orta                               |
| Y-14        | 71,0                      | İyi                                | Y-32        | 50,8                      | Orta                               |
| Y-15        | 54,4                      | Orta                               | Y-33        | 54,9                      | Orta                               |
| Y-16        | 58,2                      | Orta                               | Y-34        | 58,5                      | Orta                               |
| Y-17        | 58,0                      | Orta                               | Y-35        | 60,2                      | Orta                               |
| Y-18        | 53,9                      | Orta                               | Y-36        | 60,7                      | Orta                               |

Yeşilırmak Havzası için bulanık tabanlı su kalite indeks değerlendirmeleri Tablo 6.21’de sunulmaktadır. Uygulanan bulanık su kalite indeks modelinde elde edilen çıktılara göre en düşük indeks hesaplama değeri (45,8) Y-6 nolu (Yeni Merzifon Barajı Aks Yeri) istasyonda ve en yüksek indeks hesaplama değeri (72,2) Y-10 nolu (Camiboğazı Deresi Gümüşhacıköy Göleti) istasyonda kaydedilmiştir. Havzada tüm örnekleme noktaları için elde edilen bulanık su kalite indeks çıktıları değerlendirildiğinde “Mükemmel” ve “Çok Kötü” kategorisine giren su kütlesi örneği bulunmazken, “İyi” su kalite derecesine sahip 3 örnekleme noktası, “Orta” su kalite derecesine sahip 28 örnekleme noktası ve “Kötü” su kalite derecesine sahip 5 örnekleme noktası mevcuttur. Genel durum değerlendirildiğinde bulanık mantık model çıktılarına göre su kalitesi “Orta” seviyededir.

Lermontov et al., 2009 bu çalışmada bulanık mantığa dayalı yeni bir su kalitesi indeksi, bulanık su kalitesi indeksi geliştirilmiş ve 2004-2006 yılları arasında Brezilya’nın Saõo Paulo Eyaleti’nin güneybatısındaki Ribeira de Iguape Nehri’ne ait toplanan veriler literatürde önerilen çeşitli su kalitesi indeksleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Nehirdeki 6 örnekleme noktasından toplanan örneklerde 9 (pH, sıcaklık, bulanıklık, çözünmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, toplam azot, toplam fosfor, E. coli, tuzluluk) su kalite parametresi analiz edilmiş ve bulanık sistem üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları ile 3125 tane kural oluşturularak çalıştırılmıştır.

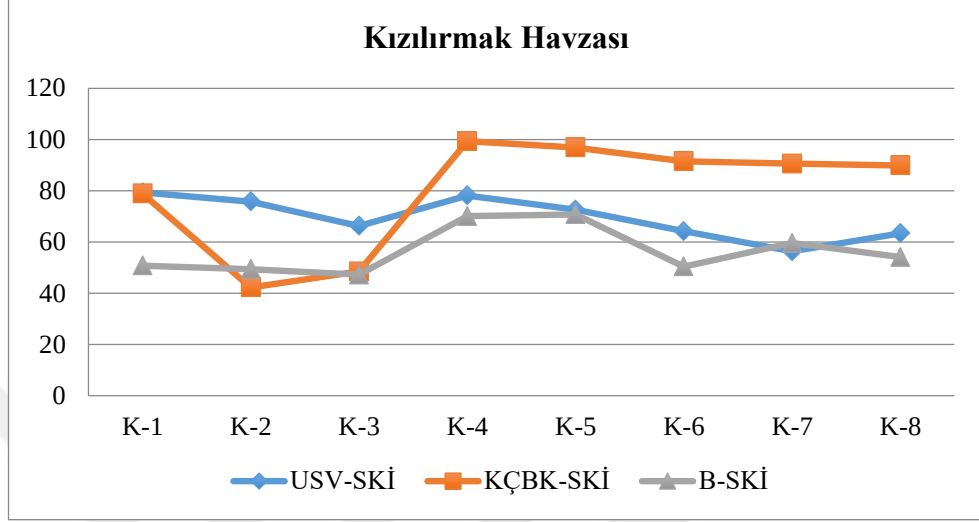
Sonuçlar, indeksin diğer indekslerle oldukça yakın değerler verdiği ve Brezilya’da geleneksel olarak hesaplanan su kalite indeksi ile iyi bir korelasyon gösterdiğini göstermiştir.

Golshan et al., 2020 çalışmada, Karun Nehri su kalitesinin Mamdani bulanık yaklaşımı temel alınarak ve bulanık su kalitesi indeksi (B-SKİ) geliştirilerek değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bulanık kurallardaki boyutsallık kaçınmak ve parametreler arasındaki ilişkileri de dikkate almak için hiyerarşik bir yaklaşım uygulanmış, fizikokimyasal, kimyasal, biyolojik ve ağır metal bulanık grupları şeklindeki 21 parametre trapezoidal üyelik fonksiyonlarına ve parametreler arasındaki ilişkileri dikkate alan kural setlerine dayalı olarak işlenmiştir. 2010-2015 verilerine dayanarak  $36,78 \pm 2,17$ ’lik bir küresel B-SKİ tahmin edilirken, USV-SKİ ve KÇBK-SKİ endeksleri ile yapılan değerlendirme sırasıyla  $41,8 \pm 1,33$  ve  $33,65 \pm 2,87$  puan almıştır. Sonuçlar üç su kalite indeksi hesaplama modelinin yakın sonuçlar verdiğini ve Karun Havzasının su kalite indeksinin hesaplanmasında bulanık su kalite indeksinin uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

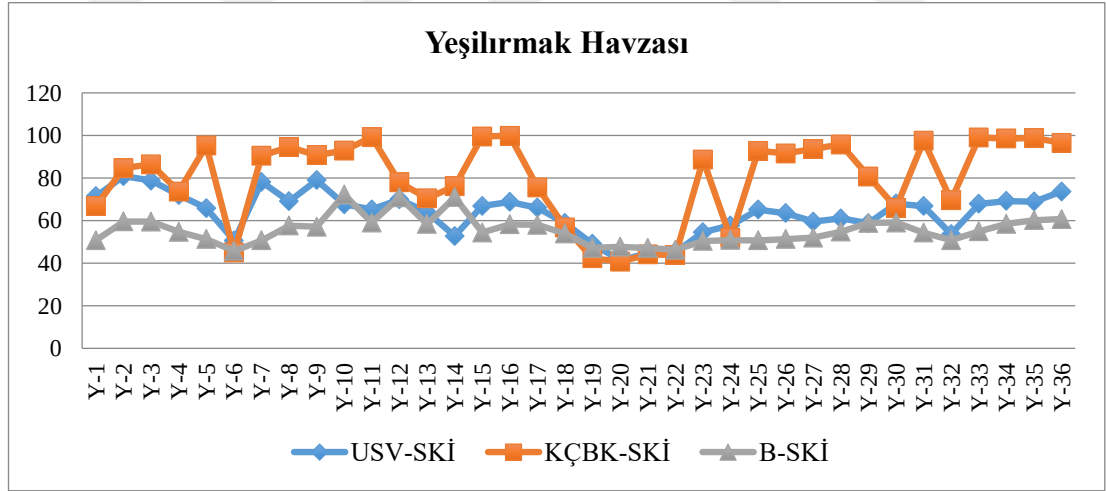
Oladipo et al., 2021 çalışmada, Nijerya’nın İkare eyaletindeki su kalitesi değerlendirilirken iki istatistiksel araç, bulanık mantık çıkarımı ve su kalitesi indeksi (SKİ) analitik yöntemleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca, çapraz tablo analizi ve Python programlama dili ile bulanık mantık ve SKİ yöntemlerinin güvenilirliği doğrulanmıştır. Sonuç olarak, yöntemlerin kirlilik dağılım seviyelerindeki eşitsizliği göstermek için ArcGIS ortamında bir sınıflandırma haritası oluşturulmuştur. SKİ ve bulanık mantık analizleri aracılığıyla, 20 örnekleme noktasından  $BOI_5$ ’in yüzeysel su kalitesi üzerinde sırasıyla %65 ve %37’lik bir etki gösterdiğini gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, fekal koliform ile bulanık mantık ve SKİ, sırasıyla mutlak (%100) ve sıfır (%0) etki göstermiştir. ArcGIS aracılığıyla, suların %8,3’ü bulanık mantık kullanılarak içme için "orta" derece olarak sınıflandırılırken, SKİ tüm çalışma alanının sularını "kötü" derece olarak sınıflandırmıştır. Bu nedenle, karşılaştırma yoluyla, bulanık mantık çıkarımının SKİ yöntemine göre üstün olduğu sonucuna varılmıştır.

#### 6.5.4. Tüm İndekslerin Birlikte Değerlendirilmesi

İki nehir havzası için uygulanan üç farklı su kalite indeks modelinden elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirilmiş ve indeks sonuçlarının örnekleme noktalarına göre karşılaştırması Şekil 6.69 ve Şekil 6.70’te sunulmaktadır.



Şekil 6.69. Kızılırmak Havzası Yıllık Ortalama İndeks Değerlerine Göre Su Kalite İndekslerinin Karşılaştırması



Şekil 6.70. Yeşilirmak Havzası Yıllık Ortalama İndeks Değerlerine Göre Su Kalite İndekslerinin Karşılaştırması

Uygulanan üç indeks modelinde hesaplamaya dahil edilen parametreler değişkenlik göstermektedir. Bu durum sonuçlardaki değişkenliğin bir nedeni iken, modellerin uygulama adımları ve ön koşulları da sonuçları etkileyen bir diğer nedendir.

Kızılırmak için uygulanan tüm indeks modellerinde yıllık ortalama indeks değerlerine göre birbiriyle korelasyonu Tablo 6.22’de sunulmaktadır. Korelasyon değerleri 1’e ne kadar yakınsa sonuçların birbiriyle benzerliği de o kadar yüksektir. Buna göre KÇBK-SKİ ile ve B-SKİ’nin korelasyonu 0,699 olup 1’e yakındır. B-SKİ ile USV-SKİ indekslerinin korelasyonu ise 0,181 olarak bulunurken KÇBK-SKİ ile USV-SKİ indeksleri arasında negatif ilişki bulunmuştur. Böylece Kanada Çevre Bakanlığı su kalite indeks modeli ve bulanık tabanlı su kalite indeks modelinin uyumlu ve çok yakın sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur.

Tablo 6.22. Kızılırmak Havzası Tüm İndeksler İçin Korelasyon Matrisi

| Değişken | USV-SKİ | KÇBK-SKİ | B-SKİ |
|----------|---------|----------|-------|
| USV-SKİ  | 1       |          |       |
| KÇBK-SKİ | -,149   | 1        |       |
| B-SKİ    | ,181    | ,699     | 1     |

Yeşilirmak Havzası için uygulanan tüm indeks modellerinin yıllık ortalama indeks değerlerine göre birbiriyle korelasyonu Tablo 6.23’te sunulmuştur. Buna göre KÇBK-SKİ ve USV-SKİ su kalite indekslerinin korelasyonu 0,683 olup 1’e yakındır. B-SKİ ile USV-SKİ indekslerinin korelasyonu ise 0,460 olarak bulunurken en düşük korelasyon (0,446) KÇBK-SKİ ile B-SKİ indeksleri arasında bulunmuştur. Böylece Kanada Çevre Bakanlığı su kalite indeks modeli ve Ulusal Sanitasyon Vakfı su kalite indeks modelinin uyumlu ve çok yakın sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur.

Tablo 6.23. Yeşilirmak Havzası Tüm İndeksler İçin Korelasyon Matrisi

| Değişken | USV-SKİ | KÇBK-SKİ | B-SKİ |
|----------|---------|----------|-------|
| USV-SKİ  | 1       |          |       |
| KÇBK-SKİ | ,683    | 1        |       |
| B-SKİ    | ,460    | ,446     | 1     |

Farklı indeks modelleri su kaynaklarındaki genel durumu ifade ederken en uygulanabilir modelin tespiti birden fazla modelin aynı su kütlesi için hesaplama yaklaşımının geliştirilmesi ve istatistiksel olarak değerlendirilmesi ile belirlenebilmektedir. İki nehir havzasında çalışılan farklı indeks modellerinin istatistiksel olarak ilişkisi çok yakın ve uyumlu sonuçlar verirken, KÇBK-SKİ’nin iki nehir havzası için de uygulanabilir indeks modeli olduğu tespit edilmiştir.

## 6.6. Temel Bileşen Analizi Sonuçları

Su kalitesini temsil eden kirlilik kaynaklarının belirlenmesi parametrelerin birbirleri ile olan ilişkilerinin karmaşık olması nedeni ile oldukça zordur (Moyel, 2014). Bu nedenle çalışmada temel bileşenler analizi gruplar arasındaki farklılıkları incelemek ve aralarındaki latent faktörleri belirlemek amacı ile kullanılmıştır.

Yeşilırmak (36 istasyon) ve Kızılırmak (Aşağı Kızılırmak Alt Havzası Bölümü 8 istasyon) Havzasındaki su kalitesinin izlendiği toplam 44 istasyondan alınan numunelerle ölçümlenen 26 parametre verisine temel bileşenler analizi uygulanmıştır. Seçilen parametreler; pH, T, renk, bulanıklık, E.İ, AKM, % doymunluk, Ç.O, BOİ<sub>5</sub>, KOİ, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, TKN, TN, oPO<sub>4</sub>, TP, Mn, Se, Cl<sup>-</sup>, Pb, Cu, Ni, Fe, Zn, Al, Cr'dir. İki yıllık ortalama ölçüm verileri SPSS 25 programında veri girişi yapılarak analiz edilmiştir.

Veri setinin TBA analizi için uygun olup olmadığını belirlemek amacıyla 3 yöntem kullanılmaktadır. Bunlar korelasyon matrisinin oluşturulması, Bartlett testi, ve Kaiser Meyer-Olkin (KMO) testleridir. Analize devam etmek için “Korelasyon matrisi birim matristir” hipotezinin reddedilmesi, yani değişkenler arasında yüksek korelasyonlar olduğu, başka bir deyişle veri setinin TBA analizi için uygun olduğu ortaya çıkmaktadır. Kaiser-Mayer-Olkin testi, örneklem yeterliliğini ölçer ve örneklem büyüklüğüyle ilgilenir. Gözlenen korelasyon katsayılarının büyüklüğü ile kısmi korelasyon katsayılarının büyüklüğünü karşılaştırır. Bu testin değeri küçük çıkarsa, çift olarak değişkenler arasındaki korelasyon ilişkisinin, diğer değişkenlerce açıklanmayacağını gösterir. Bu durumda da faktör analizine devam etmek doğru olmaz. KMO testinde bulunan değer 0,50' nin altında ise kabul edilemez, 0,50 zayıf, 0,60 orta, 0,70 iyi, 0,80 çok iyi, 0,90 mükemmeldir. Faktör analizinde, değişkenler arasında yüksek korelasyon ilişkisi aranır. Değişkenler arasında korelasyon azaldıkça, faktör analizinin sonuçlarına olan güven de o kadar azalır. Bartlett testinin sonucu p(sig) 0,05 den küçük olduğunda anlamlıdır.

### 6.6.1. Kızılırmak Havzası Temel Bileşen Analizi

Aşağı Kızılırmak Alt Havzasında yer alan 8 gözlem istasyonunda izlenen 26 su kalite parametre verisi temel bileşenler analizine tabii tutulmadan önce analiz için uygun olup olmadığı KMO ve Bartlett testleri ile değerlendirilmiştir. Tablo 6.24'te test sonuçları verilmiş ve KMO katsayısı 0,613 olarak hesaplanmış olup p,

değişkenlerin TBA için uygunluğu orta düzeydedir. Elde edilen sonuç asgari 0,50 olarak kabul edilen değerin üzerindedir. Tabloda,  $p(\text{sig}) = 0,000 < 0,05$  olduğundan Bartlett testinin sonucu anlamlıdır. Değişkenler arasında yüksek korelasyonlar vardır ve veriler çoklu normal dağılımdan gelmiştir. Veri setinin TBA analizi için uygun olduğu tespit edilmiştir. Tablo 6.25'te toplam varyans dağılımları verilmektedir.

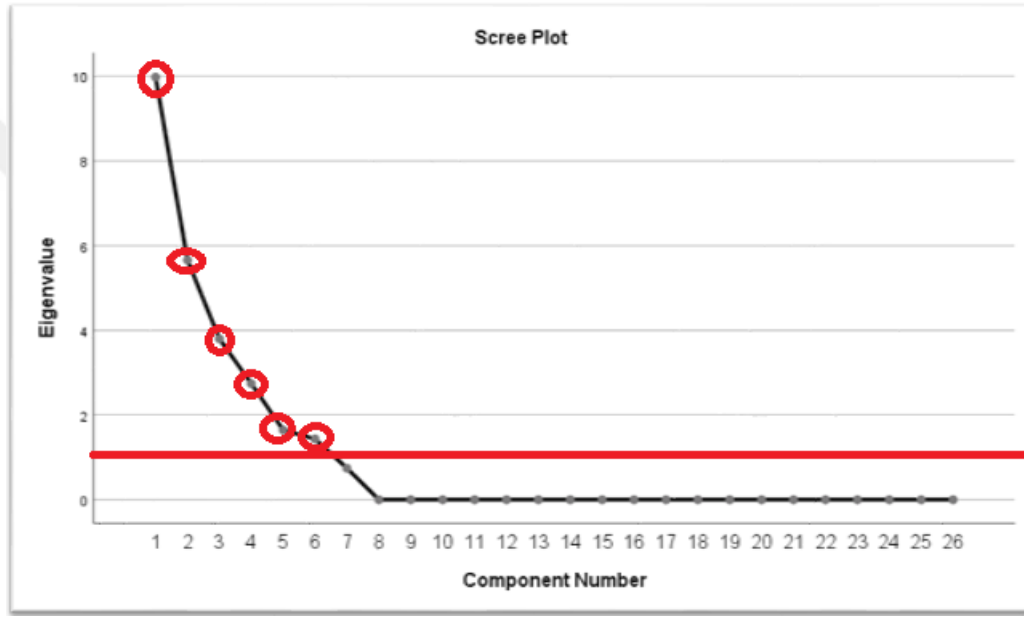
Tablo 6.24. Kızılırmak Havzası KMO ve Bartlett Testi Sonuçları

| <b>KMO and Bartlett's Test (Kızılırmak)</b>      |                    |         |
|--------------------------------------------------|--------------------|---------|
| Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy. |                    | ,613    |
| Bartlett's Test of Sphericity                    | Approx. Chi-Square | 718,551 |
|                                                  | df                 | 171     |
|                                                  | Sig.               | ,000    |

Tablo 6.25. Kızılırmak Havzası Bileşenlerin Toplam Varyans Dağılımları

| <b>Total Variance Explained (Kızılırmak)</b> |                     |                  |                 |                                   |                  |                 |
|----------------------------------------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------------------|------------------|-----------------|
| Componen<br>t                                | Initial Eigenvalues |                  |                 | Rotation Sums of Squared Loadings |                  |                 |
|                                              | Total               | % of<br>Variance | Cumulative<br>% | Total                             | % of<br>Variance | Cumulative<br>% |
| 1                                            | 9,978               | 38,378           | 38,378          | 7,793                             | 29,972           | 29,972          |
| 2                                            | 5,659               | 21,767           | 60,145          | 5,046                             | 19,407           | 49,379          |
| 3                                            | 3,800               | 14,614           | 74,760          | 3,746                             | 14,408           | 63,787          |
| 4                                            | 2,742               | 10,545           | 85,305          | 3,500                             | 13,463           | 77,251          |
| 5                                            | 1,646               | 6,331            | 91,636          | 2,625                             | 10,097           | 87,347          |
| 6                                            | 1,433               | 5,511            | 97,147          | 2,548                             | 9,800            | 97,147          |
| 7                                            | ,742                | 2,853            | 100,000         |                                   |                  |                 |
| 8                                            | 2,194E-15           | 8,437E-15        | 100,000         |                                   |                  |                 |
| 9                                            | 1,003E-15           | 3,856E-15        | 100,000         |                                   |                  |                 |
| 10                                           | 8,820E-16           | 3,392E-15        | 100,000         |                                   |                  |                 |
| 11                                           | 5,606E-16           | 2,156E-15        | 100,000         |                                   |                  |                 |
| 12                                           | 3,545E-16           | 1,363E-15        | 100,000         |                                   |                  |                 |
| 13                                           | 2,841E-16           | 1,093E-15        | 100,000         |                                   |                  |                 |
| 14                                           | 2,440E-16           | 9,384E-16        | 100,000         |                                   |                  |                 |
| 15                                           | 1,897E-16           | 7,297E-16        | 100,000         |                                   |                  |                 |
| 16                                           | 1,474E-16           | 5,670E-16        | 100,000         |                                   |                  |                 |
| 17                                           | 5,113E-17           | 1,966E-16        | 100,000         |                                   |                  |                 |
| 18                                           | -3,888E-17          | -1,495E-16       | 100,000         |                                   |                  |                 |
| 19                                           | -6,135E-17          | -2,360E-16       | 100,000         |                                   |                  |                 |
| 20                                           | -2,318E-16          | -8,916E-16       | 100,000         |                                   |                  |                 |
| 21                                           | -3,291E-16          | -1,266E-15       | 100,000         |                                   |                  |                 |
| 22                                           | -3,372E-16          | -1,297E-15       | 100,000         |                                   |                  |                 |
| 23                                           | -4,359E-16          | -1,677E-15       | 100,000         |                                   |                  |                 |
| 24                                           | -6,403E-16          | -2,463E-15       | 100,000         |                                   |                  |                 |
| 25                                           | -8,490E-16          | -3,265E-15       | 100,000         |                                   |                  |                 |

Verilerin analize uygunluğu incelendikten sonra açıklanan toplam varyans tablosu elde edilerek 26 parametreye göre kaç faktörden oluştuğu belirlenmiştir. Açıklanan toplam varyans tablosuna bakıldığında çalışmanın ilk aşamada 6 alt faktörden oluştuğu görülmektedir. Bu 6 alt faktör toplam varyansın %97,147'sini açıkladığı görülmektedir. İlk faktör toplam varyansın %29,972'sini, ikinci faktör %19,407'sini, üçüncü faktör %14,408'ini, dördüncü faktör %13,463'ünü, beşinci faktör %10,097' sini, altıncı faktör %9,800'ünü açıklamaktadır.



Şekil 6.71. Kızılırmak Havzası Bileşen Analizi Çizgi Grafiği

Temel bileşen sayısını belirlemede kullanılan scree grafikleri özdeğerleri göstermektedir (Oke & Sangodoyin, 2015). Özdeğer, faktörün önemini belirtir ve değer yükseldikçe özdeğerin önemi artmaktadır (Shrestha & Kazama, 2007). Bir değişkenin özdeğeri 1,0'dan büyükse önemli olarak kabul edilmektedir (Gorsuch, 2013). Temel Bileşenler Analizine göre Şekil 6.71'de görüleceği üzere özdeğer istatistiği 1'den büyük olan 6 bileşen mevcuttur. Bu 6 bileşen toplam varyansın neredeyse tamamını açıklamaktadır. Ayrıca Şekil 6.71'e bakıldığında altıncı bileşenden sonra grafik eğimini önemli ölçüde kaybetmeye başlamıştır.

Tablo 6.26. Kızılırmak Havzası Altı Faktör için Döndürülmüş Bileşen Matrisi

| Rotated Component Matrix <sup>a</sup> (Kızılırmak) |           |   |   |   |   |   |
|----------------------------------------------------|-----------|---|---|---|---|---|
|                                                    | Component |   |   |   |   |   |
|                                                    | 1         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

|                         |              |             |              |             |              |
|-------------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| NH <sub>4</sub> -N      | -,984        |             |              |             |              |
| TN                      | -,962        |             |              |             |              |
| Ni                      | ,936         |             |              |             |              |
| Pb                      | ,917         |             |              |             |              |
| Al                      | ,821         |             | ,478         |             |              |
| Zn                      | ,815         |             |              | -,462       |              |
| TKN                     | -,775        | -,606       |              |             |              |
| Cu                      | ,700         | ,562        |              |             |              |
| <b>T</b>                | <b>,570</b>  | <b>,509</b> | <b>-,476</b> |             | <b>-,423</b> |
| Se                      |              | ,996        |              |             |              |
| TP                      |              | ,980        |              |             |              |
| Cr                      |              | -,939       |              |             |              |
| İletkenlik              |              | ,753        | ,559         |             |              |
| Fe                      |              |             | ,884         | ,411        |              |
| Mn                      | ,501         |             | ,766         | ,351        |              |
| <b>% Doygunluk</b>      | <b>-,373</b> |             | <b>-,556</b> | <b>,349</b> | <b>,516</b>  |
| AKM                     |              |             |              | ,932        |              |
| Cl                      |              |             | ,348         | ,858        |              |
| NTU                     |              |             |              | ,819        | -,446        |
| <b>NO<sub>3</sub>-N</b> |              |             | <b>,616</b>  | <b>,702</b> |              |
| KOI                     |              |             | -,429        | -,845       |              |
| oPO <sub>4</sub>        | -,369        |             |              | ,835        |              |
| <b>Renk</b>             |              |             | <b>-,342</b> | <b>,820</b> | <b>,381</b>  |
| ÇO                      |              |             |              |             | ,889         |
| <b>pH</b>               | <b>,489</b>  | <b>,418</b> |              |             | <b>,633</b>  |
| BOI <sub>5</sub>        | -,493        |             |              | ,335        | ,607         |

Yapılan analiz sonucu yukarıdaki dönüştürülmüş matris tablosuna göre bazı parametrelerin birden çok bileşene etki ettiği ve etki ağırlığı farkının 0,150 ve altı olanların gözlemden çıkarılarak yeniden temel bileşen analizi yapılması, veri setini daha açıklayıcı olacağı gözlemlenmiştir. Oluşacak yeni bileşenlere göre, su kalitesini etkileyen ve ölçüm için toplam varyansın % kaçını açıkladığı değerlendirilerek belirlenecek parametrelerin, izleme yapılan istasyonlar için yeterli olduğu tespit edilmelidir. Birden fazla yapılan bu işlemler sonucunda, *BOI<sub>5</sub>*, *% doygunluk*, *T*, *NO<sub>3</sub>-N*, *pH*, *oPO<sub>4</sub>*, *renk*, *iletkenlik*, *Mn*, *TKN*, *Cu*, *Fe* parametreleri analizden çıkarılmıştır.

Analiz sonucuna göre Kızılırmak Havzası için; 5 faktör oluşmuş ve oluşan bu faktörlerin toplam varyansın %95,788'ini açıkladığı görülmektedir.

Tablo 6.27. Kızılırmak Havzası Özdeğer İstatistiğine Bağlı Bileşen Sayısı ve Varyans Yüzdeleri

| Total Variance Explained (Kızılırmak) |                     |               |              |                                   |               |              |
|---------------------------------------|---------------------|---------------|--------------|-----------------------------------|---------------|--------------|
| Component                             | Initial Eigenvalues |               |              | Rotation Sums of Squared Loadings |               |              |
|                                       | Total               | % of Variance | Cumulative % | Total                             | % of Variance | Cumulative % |
| 1                                     | 5,729               | 40,918        | 40,918       | 5,305                             | 37,894        | 37,894       |
| 2                                     | 3,237               | 23,124        | 64,042       | 3,127                             | 22,338        | 60,232       |
| 3                                     | 2,305               | 16,464        | 80,506       | 2,617                             | 18,689        | 78,922       |
| 4                                     | 1,136               | 8,112         | 88,618       | 1,231                             | 8,789         | 87,711       |

|    |            |            |         |       |       |        |
|----|------------|------------|---------|-------|-------|--------|
| 5  | 1,004      | 7,170      | 95,788  | 1,131 | 8,077 | 95,788 |
| 6  | ,386       | 2,756      | 98,544  |       |       |        |
| 7  | ,204       | 1,456      | 100,000 |       |       |        |
| 8  | 8,741E-16  | 6,243E-15  | 100,000 |       |       |        |
| 9  | 5,796E-16  | 4,140E-15  | 100,000 |       |       |        |
| 10 | 3,179E-16  | 2,271E-15  | 100,000 |       |       |        |
| 11 | 1,795E-16  | 1,282E-15  | 100,000 |       |       |        |
| 12 | -1,195E-16 | -8,532E-16 | 100,000 |       |       |        |
| 13 | -4,048E-16 | -2,891E-15 | 100,000 |       |       |        |
| 14 | -6,592E-16 | -4,708E-15 | 100,000 |       |       |        |

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Tablo 6.27’de Kızılırmak Havzası için döndürülmüş bileşen matrisi analiz sonucu kalan 14 parametrenin faktör dağılımları verilmiştir. Beş faktör ve her bir parametrenin faktörler altındaki ağırlıkları incelendiğinde; birinci faktör altı değişkeni kapsamaktadır. Bunlar; amonyum azotu, nikel, toplam azot, kurşun, alüminyum ve çinko’dur. Birinci faktör 5,305 özdeğere ve %37,894’lük varyansa sahip olduğu görülmektedir.

İkinci faktör üç değişkeni kapsamaktadır. Bunlar; selenyum, toplam fosfor ve kromdur. Özdeğeri 3,127 ve %22,338’lik bir varyansa sahip olduğu görülmektedir.

Üçüncü faktör üç değişkeni kapsamaktadır. Bunlar; askıda katı madde, klorür ve bulanıklıktır. Bu üç faktörün özdeğeri 2,617 ve varyans değerinin ise %18,689 olduğu görülmektedir.

Dördüncü faktör bir değişkeni kapsamaktadır ve bu da kimyasal oksijen ihtiyacı’dır. Özdeğeri 1,231, varyans değerinin ise % 8,789 olduğu görülmektedir.

Beşinci faktör bir değişkeni kapsamaktadır ve bu da çözünmüş oksijen’dir. Özdeğer 1,131 ve %8,077’lik varyans değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu beş faktör toplam varyansın %95,788’ini temsil etmektedir.

Tablo 6.28. Kızılırmak Havzası Beş Faktör için Döndürülmüş Bileşen Matrisi

|                    | Faktör   |        |   |   |   |   |
|--------------------|----------|--------|---|---|---|---|
|                    | Ortak    | 1      | 2 | 3 | 4 | 5 |
|                    | Varyansı |        |   |   |   |   |
| NH <sub>4</sub> -N | 0.968    | -0.975 |   |   |   |   |
| Ni                 | 0.988    | 0.949  |   |   |   |   |
| TN                 | 0.969    | -0.940 |   |   |   |   |
| Pb                 | 0.977    | 0.932  |   |   |   |   |
| Al                 | 0.937    | 0.859  |   |   |   |   |
| Zn                 | 0.948    | 0.839  |   |   |   |   |

|     |       |        |       |       |       |  |
|-----|-------|--------|-------|-------|-------|--|
| Se  | 0.994 | 0.993  |       |       |       |  |
| TP  | 0.998 | 0.992  |       |       |       |  |
| Cr  | 0.996 | -0.961 |       |       |       |  |
| AKM | 0.984 |        | 0.933 |       |       |  |
| Cl  | 0.890 |        | 0.921 |       |       |  |
| NTU | 0.801 |        | 0.821 |       |       |  |
| KOI | 0.966 |        |       | 0.958 |       |  |
| ÇO  | 0.994 |        |       |       | 0.991 |  |

Bu çalışmada gösterilen TBA analizinin çıktısı, bulanık tabanlı su kalite indeksi geliştirilmesinin yalnızca ilk adımı, yani parametre seçimi için kullanılmaktadır. Ayrıca su kalitesi izleme çalışması yapılan havza için gözlem verilerini temsil eden parametreleri oluşturacaktır. Seçilen Temel Bileşenlere en yüksek katkıyı sağlayan 14 parametre ile ilenmiştir ve Tablo 6.28’de toplam varyansı temsil eden 5 faktör içinde dağılımları gösterilmiştir. Her bir faktörü temsil eden grup renklendirilerek ayrımları net bir şekilde gösterilmiştir. İlk 26 parametreden son 14’ü su kalitesinin çeşitli yönlerini yeterince temsil etmektedir, bu nedenle 14 parametre ile analiz sonlandırılmıştır. AKM, Ç.O, KOİ, TP, NH<sub>4</sub>-N, TN, Se, Ni, Pb ve Cr gibi parametreler tüm varyansın büyük çoğunluğunu temsil ettiklerinden nihai kısa listeye alınan parametrelerin sayısı (10 parametre) daha da azaltılabilir.

#### 6.6.2. Yeşilirmak Havzası Temel Bileşen Analizi

Yeşilirmak Havzasında yer alan 36 gözlem istasyonunda izlenen 26 su kalite parametre verisi temel bileşenler analizine tabii tutulmadan önce analiz için uygun olup olmadığı KMO ve Bartlett testleri ile değerlendirilmiştir.

Tablo 6.29. Yeşilirmak Havzası KMO ve Bartlett Testi Sonuçları

| KMO and Bartlett's Test (Yeşilirmak)             |                    |          |
|--------------------------------------------------|--------------------|----------|
| Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy. |                    | ,571     |
| Bartlett's Test of Sphericity                    | Approx. Chi-Square | 1132,633 |
|                                                  | df                 | 325      |
|                                                  | Sig.               | ,000     |

Tablo 6.29’a bakıldığında KMO katsayısı 0,571 olarak bulunduğundan p, değişkenlerin temel bileşenler analizine uygunluğu orta düzeydedir. Elde edilen sonuç asgari 0,50 olarak kabul edilen değer üzerindedir. Yukarıdaki tabloda, p(sig) = 0,000 < 0,05 olduğundan Bartlett testinin sonucu anlamlıdır. Değişkenler arasında yüksek korelasyonlar vardır ve veriler çoklu normal dağılımdan gelmiştir. Veri setinin TBA analizi için uygun olduğu çıkarımında bulunulabilir.

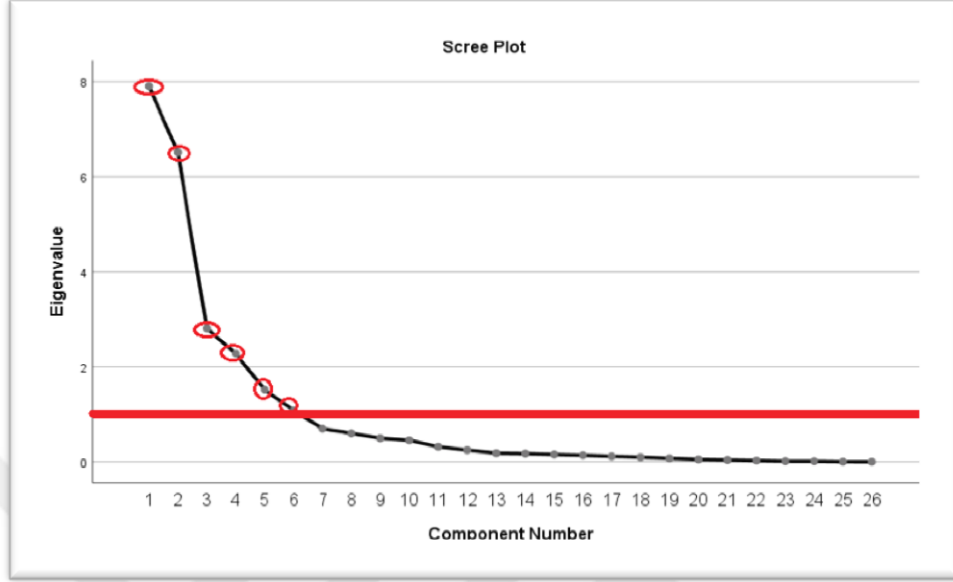
Tablo 6.30. Yeşilirmak Havzası Bileşenlerin Toplam Varyans Dağılımları

| Total Variance Explained (Yeşilirmak) |                     |               |              |                                   |               |              |
|---------------------------------------|---------------------|---------------|--------------|-----------------------------------|---------------|--------------|
| Component                             | Initial Eigenvalues |               |              | Rotation Sums of Squared Loadings |               |              |
|                                       | Total               | % of Variance | Cumulative % | Total                             | % of Variance | Cumulative % |
| 1                                     | 7,904               | 30,399        | 30,399       | 5,113                             | 19,666        | 19,666       |
| 2                                     | 6,516               | 25,061        | 55,460       | 5,079                             | 19,533        | 39,198       |
| 3                                     | 2,812               | 10,816        | 66,276       | 3,876                             | 14,908        | 54,106       |
| 4                                     | 2,279               | 8,767         | 75,043       | 3,753                             | 14,436        | 68,542       |
| 5                                     | 1,517               | 5,835         | 80,878       | 2,790                             | 10,732        | 79,275       |
| 6                                     | 1,083               | 4,166         | 85,045       | 1,500                             | 5,770         | 85,045       |
| 7                                     | ,697                | 2,682         | 87,727       |                                   |               |              |
| 8                                     | ,600                | 2,309         | 90,036       |                                   |               |              |
| 9                                     | ,497                | 1,911         | 91,946       |                                   |               |              |
| 10                                    | ,454                | 1,747         | 93,694       |                                   |               |              |
| 11                                    | ,317                | 1,220         | 94,914       |                                   |               |              |
| 12                                    | ,247                | ,949          | 95,863       |                                   |               |              |
| 13                                    | ,181                | ,697          | 96,560       |                                   |               |              |
| 14                                    | ,173                | ,664          | 97,224       |                                   |               |              |
| 15                                    | ,154                | ,591          | 97,815       |                                   |               |              |
| 16                                    | ,137                | ,529          | 98,344       |                                   |               |              |
| 17                                    | ,115                | ,440          | 98,784       |                                   |               |              |
| 18                                    | ,097                | ,374          | 99,158       |                                   |               |              |
| 19                                    | ,073                | ,281          | 99,440       |                                   |               |              |
| 20                                    | ,050                | ,193          | 99,633       |                                   |               |              |
| 21                                    | ,039                | ,150          | 99,783       |                                   |               |              |
| 22                                    | ,027                | ,103          | 99,886       |                                   |               |              |
| 23                                    | ,013                | ,051          | 99,938       |                                   |               |              |
| 24                                    | ,013                | ,048          | 99,986       |                                   |               |              |
| 25                                    | ,003                | ,010          | 99,996       |                                   |               |              |
| 26                                    | ,001                | ,004          | 100,000      |                                   |               |              |

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Verilerin analize uygunluğu incelendikten sonra açıklanan toplam varyans tablosu elde edilerek 26 parametreye göre kaç faktörden oluştuğu belirlenmiştir. Açıklanan toplam varyans tablosuna bakıldığında çalışmanın ilk aşamada 6 alt faktörden oluştuğu görülmektedir. Bu 6 alt faktör toplam varyansın %85,045'ini açıkladığı görülmektedir.

İlk faktör toplam varyansın %19,666'sını, ikinci faktör %19,533'ünü, üçüncü faktör %14,908'ini, dördüncü faktör %14,436'sını, beşinci faktör %10,732'sini, altıncı faktör %5,770'ini açıklamaktadır.



Şekil 6.72. Yeşilirmak Havzası Bileşen Analizi Çizgi Grafiği

Temel Bileşenler Analizine göre yukarıdaki grafikten de görüleceği üzere özdeğer istatistiği 1'den büyük olan 6 faktör mevcuttur. Bu 6 bileşen toplam varyansın neredeyse tamamına yakınını açıklamaktadır. Ayrıca Şekil 6.72'ye bakıldığında altıncı bileşenden sonra grafik eğimini önemli ölçüde kaybetmeye başlamıştır. Bu nedenle bileşen sayısı 6 olarak belirlenmiştir (Tablo 6.31).

Tablo 6.31. Yeşilirmak Havzası Altı Faktör için Döndürülmüş Bileşen Matrisi

| Rotated Component Matrix <sup>a</sup> |             |             |      |             |   |   |
|---------------------------------------|-------------|-------------|------|-------------|---|---|
|                                       | Component   |             |      |             |   |   |
|                                       | 1           | 2           | 3    | 4           | 5 | 6 |
| Renk                                  | ,924        |             |      |             |   |   |
| Fe                                    | ,922        |             |      |             |   |   |
| oPO <sub>4</sub>                      | ,844        |             | ,488 |             |   |   |
| Cu                                    | ,773        | ,525        |      |             |   |   |
| <b>Mn</b>                             | <b>,759</b> | <b>,337</b> |      | <b>,348</b> |   |   |
| NTU                                   | ,743        | ,401        |      |             |   |   |
| Ni                                    |             | ,947        |      |             |   |   |
| Cr                                    |             | ,933        |      |             |   |   |
| AKM                                   |             | ,878        |      |             |   |   |
| Zn                                    | ,415        | ,802        |      |             |   |   |
| Al                                    | ,421        | ,772        |      |             |   |   |
| <b>Pb</b>                             | <b>,603</b> | <b>,726</b> |      |             |   |   |
| TKN                                   |             |             | ,904 |             |   |   |
| TN                                    |             |             | ,874 |             |   |   |

|                    |             |              |             |
|--------------------|-------------|--------------|-------------|
| NH <sub>4</sub> -N | ,866        |              |             |
| TP                 | ,642        |              | ,423        |
| ÇO                 |             | -,910        |             |
| % Doygunluk        |             | -,900        |             |
| <b>İletkenlik</b>  | <b>,403</b> | <b>,677</b>  | <b>,450</b> |
| BOI <sub>5</sub>   | ,456        | ,615         |             |
| <b>Cl</b>          | <b>,466</b> | <b>,594</b>  | <b>,550</b> |
| KOI                |             |              | ,860        |
| NO <sub>3</sub> -N |             |              | ,858        |
| Se                 |             |              | ,795        |
| T                  |             |              | ,815        |
| <b>pH</b>          |             | <b>-,584</b> | <b>,589</b> |

Yapılan analiz sonucu yukarıdaki dönüştürülmüş matris tablosuna göre bazı parametrelerin birden çok bileşene etki ettiği ve etki ağırlığı farkının 0,150 ve altı olanların gözlemden çıkarılarak yeniden temel bileşen analizi yapılması, veri setini daha açıklayıcı olacağı gözlemlenmiştir. Oluşacak yeni bileşenlere göre, su kalitesini etkileyen ve ölçüm için toplam varyansın % kaçını açıkladığı değerlendirilerek belirlenecek parametrelerin, izleme yapılan istasyonlar için yeterli olduğu tespit edilmelidir.

Birden fazla yapılan bu işlemler sonucunda, *BOI<sub>5</sub>*, *T*, *pH*, *İletkenlik*, *Cl*, *Mn*, *Pb* parametreleri analizden çıkarılmıştır. Analiz sonucuna göre Yeşilırmak Havzası için; 5 faktör oluşmuş ve oluşan bu faktörlerin toplam varyansın %84,450'sini açıkladığı görülmektedir.

Tablo 6.32. Yeşilırmak Havzası Özdeğer İstatistiğine Bağlı Bileşen Sayısı ve Varyans Yüzdeleri

| Total Variance Explained |                     |               |              |                                   |               |              |
|--------------------------|---------------------|---------------|--------------|-----------------------------------|---------------|--------------|
| Component                | Initial Eigenvalues |               |              | Rotation Sums of Squared Loadings |               |              |
|                          | Total               | % of Variance | Cumulative % | Total                             | % of Variance | Cumulative % |
| 1                        | 5,783               | 30,438        | 30,438       | 4,384                             | 23,073        | 23,073       |
| 2                        | 4,561               | 24,008        | 54,445       | 4,066                             | 21,399        | 44,473       |
| 3                        | 2,374               | 12,496        | 66,941       | 3,444                             | 18,128        | 62,601       |
| 4                        | 2,071               | 10,901        | 77,842       | 2,240                             | 11,787        | 74,388       |
| 5                        | 1,256               | 6,608         | 84,450       | 1,912                             | 10,062        | 84,450       |
| 6                        | ,635                | 3,344         | 87,795       |                                   |               |              |
| 7                        | ,526                | 2,767         | 90,562       |                                   |               |              |
| 8                        | ,461                | 2,427         | 92,990       |                                   |               |              |
| 9                        | ,352                | 1,851         | 94,841       |                                   |               |              |
| 10                       | ,254                | 1,337         | 96,178       |                                   |               |              |
| 11                       | ,215                | 1,130         | 97,308       |                                   |               |              |
| 12                       | ,155                | ,817          | 98,124       |                                   |               |              |

|    |      |      |         |
|----|------|------|---------|
| 13 | ,117 | ,616 | 98,741  |
| 14 | ,081 | ,427 | 99,168  |
| 15 | ,062 | ,326 | 99,494  |
| 16 | ,040 | ,213 | 99,707  |
| 17 | ,031 | ,165 | 99,872  |
| 18 | ,018 | ,097 | 99,968  |
| 19 | ,006 | ,032 | 100,000 |

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Tablo 6.32’de Yeşilırmak Havzası için döndürülmüş bileşen matrisi analiz sonucu kalan 17 parametrenin faktör dağılımları verilmiştir. Beş faktör ve her bir parametrenin faktörler altındaki ağırlıkları incelendiğinde; birinci faktör beş değişkeni kapsamaktadır. Bunlar; nikel, krom, askıda katı madde, çinko ve alüminyum’dur. Birinci faktör 5,113 özdeğere ve %19,666’lık varyansa sahip olduğu görülmektedir.

İkinci faktör beş değişkeni kapsamaktadır. Bunlar; renk, demir, orto fosfat, bakır ve bulanıklık’tır. Özdeğeri 5,079 ve %19,533’lük bir varyansa sahip olduğu görülmektedir.

Üçüncü faktör dört değişkeni kapsamaktadır. Bunlar; toplam kjeldahl azotu, toplam azot, amonyum azotu ve toplam fosfor’dur. Bu dört faktörün özdeğeri 3,876 ve varyans değerinin ise %14,908 olduğu görülmektedir.

Dördüncü faktör üç değişkeni kapsamaktadır. Bunlar; selenyum, kimyasal oksijen ihtiyacı ve nitrat azotu’dur. Özdeğeri 3,753, varyans değerinin ise % 14,436 olduğu görülmektedir.

Beşinci faktör iki değişkeni kapsamaktadır. Bunlar; yüzde doymunluk ve çözünmüş oksijen’dir. Özdeğer 1,500 ve %5,570’lik varyans değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu beş faktör toplam varyansın %85,045’ini temsil etmektedir.

Seçilen Temel Bileşenlere en yüksek katkıyı sağlayan 19 parametre ile ilenlenmiştir ve Tablo 6.33’de toplam varyansı temsil eden 5 faktör içinde dağılımları gösterilmiştir.

Tablo 6.33. Yeşilırmak Havzası Beş Faktör için Döndürülmüş Bileşen Matrisi

|    | Faktör<br>Ortak<br>Varyansı | 1     | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----|-----------------------------|-------|---|---|---|---|
| Ni | 0.963                       | 0.959 |   |   |   |   |
| Cr | 0.910                       | 0.930 |   |   |   |   |



## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması, Türkiye'nin iki önemli havzası olan Kızılırmak ve Yeşilırmak Nehir Havzalarını tüm yönleriyle ele almış olup, su kaynaklarının karakterizasyonunu temsil eden kapsamlı bir çalışma şeklinde yürütülmüştür. Çalışmada değinilen adımlara Ülkemizde yapılan çalışmalarda belli başlı olarak yer verilmiştir. Su karakterizasyonunu temsil edebilecek unsurlara geniş bir çerçevede yer vermiş olması tez çalışmasını diğer yapılan çalışmalardan üstün kılmaktadır. Bu bölümde tez çalışmasında elde edilen sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

Çalışma, her iki Nehir Havzası'nın Orta Karadeniz Bölgesi sınırlarında yer alan kısmında yürütülmüş olup, mevcut sınırlar içindeki DSİ Su Kalite Gözlem İstasyonlarına ait veriler kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

Çalışmanın öncelikli adımı nehir havzalarının karakterizasyonunu belirlemek, havzalardaki baskı ve etki unsurlarını saptamak olmuştur. Bunun için iki nehir havzasındaki su kütleleri tür ve sayılarına erişim sağlanmış ve bu su kütlelerine baskı unsuru yaratabilecek faaliyet alanları belirlenmiştir.

Kızılırmak Havzasında 306 nehir, 144 göl, 9 geçiş suyu ve 3 kıyı suyu olmak üzere 462 yerüstü suyu kütlesi bulunmaktadır. Havzada bulunan toplam 462 yerüstü su kütlesi içinde 147 tanesinin (110 nehir suyu, 32 göl suyu, 2 kıyı suyu ve 3 geçiş suyu) önemli noktasal baskı altında olduğu belirlenmiştir. Havzada evsel atıksu deşarjlarından 97 yerüstü su kütlesinin, endüstriyel atıksu deşarjlarından 66 yerüstü su kütlesinin, balık çiftlikleri kaynaklı kirlilikten 6 yerüstü su kütlesinin, jeotermal kaynaklı deşarjdan 20 yerüstü su kütlesinin ve madencilik faaliyetli deşarjdan 10 yerüstü su kütlesinin önemli noktasal kaynaklı baskı altında olduğu tespit edilmiştir. Havzada bulunan toplam 462 yerüstü su kütlesi içinde 421 (283 nehir suyu, 130 göl suyu ve 8 geçiş suyu) tanesinin önemli yayılı kaynaklı baskı altında olduğu belirlenmiştir. Özellikle tarım ve hayvancılık faaliyetleri yayılı kaynaklı baskı yükünü arttıran ana etmenleri oluşturduğu belirlenmiştir.

Noktasal ve yayılı kaynaklı baskılar neticesinde doğal durumdaki değişim, etki olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada Su Çerçeve Direktifinde yer alan çevresel hedeflerle (iyi ekolojik urum ve iyi kimyasal durum) uyumsuzluk riskine yol açan önemli etkiler dikkate alınmıştır. Kızılırmak Havza sınırları içerisinde yer alan 462 yerüstü su kütlesinin %56'sının etki altında olduğu tespit edilmiştir. Temel sorun

kimyasal etki ve onun doğurduğu risklerdir. Havzadaki su kütlelerine önemli baskılar evsel atıksu deşarjları, endüstriyel atıksu deşarjları ve genel baskılardan kaynaklı olmaktadır. Su kütlelerinin %7'si çevresel hedeflere ulaşamama konusunda çok yüksek risk altındadır, %6'sı yüksek risk ve %23'ü orta düzeyde başarısız olma riskiyle karşı karşıyadır. Kızılırmak Havzasında su kütlesi başına nihai riskler değerlendirildiğinde 34 su kütlesinin çok yüksek risk altında olduğu sonucuna varılmıştır.

Yeşilirmak Havzasında 116 adet (74 nehir suyu, 36 göl suyu, 3 geçiş suyu ve 3 kıyı suyu kütlesi) yerüstü su kütlesi bulunmaktadır. Bu yerüstü su kütleleri arasında 63 su kütlesi (50 Nehir Suyu Kütlesi, 11 Göl Suyu Kütlesi ve 2 Kıyı Suyu Kütlesi) noktasal baskı altındadır. Evsel ve endüstriyel kaynaklı deşarjlar, insan faaliyetleri noktasal kaynaklı baskıya sebep faktörler arasında öne çıkmaktadır. Havzada evsel atıksu deşarjlarından 45 su kütlesinin (35 nehir suyu, 8 göl Kütlesi ve 2 kıyı su), endüstriyel atıksu deşarjlarından 42 yerüstü su kütlesinin (36 nehir suyu, 4 göl suyu ve 2 kıyı suyu), balık çiftlikleri kaynaklı kirlilikten 4 su kütlesinin (3 göl suyu ve 1 kıyı suyu), jeotermal kaynaklı deşarjdan 9 yerüstü su kütlesinin ve madencilik faaliyetli deşarjdan 7 yerüstü su kütlesinin (6 nehir suyu ve 1 kıyı suyu) önemli noktasal kaynaklı baskı altında olduğu tespit edilmiştir. Havzada bulunan toplam 116 yerüstü su kütlesi içinde 96 tanesinin (64 nehir suyu, 30 göl suyu ve 2 kıyı suyu) önemli yayılı kaynaklı baskı altında olduğu belirlenmiştir. Özellikle tarım ve hayvancılık faaliyetleri yayılı kaynaklı baskı yükünü arttırdığı belirlenmiştir.

Yeşilirmak Havzasında yerüstü su kütleleri için etki değerlendirmesi yapıldığında, havzada yer alan 74 nehir suyu kütlesinden 46'sı (%62), 36 göl suyu kütlesinden 22'si (%62), 3 kıyı suyu kütlesinin 3'ü (%100) ve 3 geçiş suyu kütlesinden 1'inin (%33) etki altında olduğu tespit edilmiştir. Genel bir değerlendirme yapıldığında 116 yerüstü su kütlesinin 72'sinin yüksek risk altında olduğu, 38 yerüstü su kütlesinin olası risk altında olduğu ve 6 yerüstü su kütlesinin ise risk altında olmadığı tespit edilmiştir. Havzada tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin yoğun olarak yapılması yüzey ve yeraltı sularında besin maddeleri kaynaklı kirliliği arttırmakta olduğunu sonucuna varılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında tespit edilen baskı türlerinin nehir havzalarına etki ettiği yükleri belirlemek olmuştur. Bu amaçla uygulama alanı olan iki Nehir Havzasının tamamı dahil edilerek günlük maksimum toplam yük yaklaşım modeli

uygulanmıştır. Günlük Maksimum Toplam Yük yaklaşım modeli, parametre bazlı hedeflenen su kalitesinin sağlanması için su kütlesinin alabileceği maksimum yük miktarının belirlenmesini ve bu hesaplanan yük değerinin noksal ve yayılı kaynaklar içindeki dağılımını ifade etmektedir.

Modelin uygulamasının ilk basamağı kirletici kaynakların tespiti ve tanımlanması yani havzadaki baskı ve etkilerin değerlendirilmesidir. İkinci basamak bağlantı analizi yani havza sınırlarında yer alan su kütleleri üzerindeki noktasal ve yayılı kaynaklardan gelen yükler ayrı ayrı hesaplarak, çevresel hedeflerin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. Bu tanımlamalar neticesinde havzalardaki toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) parametreleri bazında yük hesaplaması yapılmıştır. Kızılırmak ve Yeşilırmak Havzalarında bulunan su kütleleri üzerinde membaıdan mansaba kadar noktasal ve yayılı kaynaklar göz önünde bulundurularak kirlilik yükleri hesaplanmıştır.

Kirlilik yükü dağılımı incelendiğinde, Kızılırmak ve Yeşilırmak Havzalarında toplam azot ve toplam fosfor yükünün büyük çoğunluğunun yayılı kirleticilerden kaynaklandığı, diğer önemli kısmının ise membaıdan (nehrin kollarındaki dere ve çaylardan) geldiği görülmektedir. Membaidan gelen kirlilik yükünün yüksek olması geçtikleri bölgedeki birçok sanayi tesisinin, tarımsal ve hayvancılık faaliyetlerinin yükünü Karadeniz'e taşıdığını göstermektedir.

Kızılırmak Havzası hesaplama modeli sonuçlarına göre, mevcut durumda yük dağılımında membaıdan gelen kirlilik yüklerinin ve yayılı kaynakların oranının noktasal kirlilik kaynaklarına oranla çok daha fazla olduğu saptanmıştır. Nehir Havzasının özümseyebileceği yük havzada oluşan toplam azot parametresinin yaklaşık %50'sine tekabül ederken bu oran toplam fosfor parametresinde oldukça düşük olup yaklaşık %5 oranındadır. Bu durum havzada oluşan her iki yük kaynağını azaltıcı senaryolar oluşturulmasını gerektirmektedir.

Yeşilırmak Havzası hesaplama modeli sonuçları Kızılırmak Havzası hesaplama model sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Havzada mevcut durumda yük dağılımında membaıdan gelen kirlilik yüklerinin ve yayılı kaynakların oranının noktasal kirlilik kaynaklarına oranla çok daha fazla olduğu saptanmıştır. Nehir Havzasının özümseyebileceği yük havzada oluşan toplam azot parametresinin yaklaşık %57'sine tekabül ederken bu oran toplam fosfor parametresinde ise yaklaşık

%16 oranındadır. Bu durum havzada oluşan her iki yük kaynağını azaltıcı senaryolar oluşturulmasını gerektirmektedir.

Ülkemizin halen uyum sürecinde olduğu AB Mevzuatı ve SÇD'nin iyi su durumuna ulaşma hedefi yolunda çevresel kalite hedeflerinin sağlanamadığı su kütlelerinde hem kısa hem de uzun vadede uygulanabilecek yaklaşımlardan biri olarak önerilen Günlük Maksimum Toplam Yük yaklaşımının noktasal ve yayılı kaynaklı kirliliğin yoğun olduğu Kızılırmak ve Yeşilirmak Nehir Havzalarında uygulanması neticesinde, TN ve TP parametreleri özelinde YSKY'de yer alan deşarj standartlarının hedeflenen su kalitesine ulaşmak için yetersiz olduğu görülmektedir. Kızılırmak Havzası bütün olarak değerlendirildiğinde havzanın bütününde aynı deşarj standardının uygulanması durumunda yapılan hesaplama sonuçlarına göre mevcut deşarj standartlarında TN parametresinde %49,06, TP parametresinde %94,9 oranında azaltıma gidilmesi gerekliliği ortaya konulmuştur. Yeşilirmak Havzasında aynı değerlendirme yapıldığında TN parametresinde %42,8, TP parametresinde %83,3 oranında azaltıma gidilmesi gerekliliği ortaya konulmuştur.

GMTY sonuçları değerlendirildiğinde, alıcı su ortamlarının kalitesinin ve çevresel hedeflerin sağlanıp sağlanamadığının tespitine yönelik olarak izleme programlarının oluşturulması ve düzenli izleme çalışmalarının yürütülmesi önem arz etmektedir. Diğer taraftan, fiziko-kimyasal ve kimyasal parametreler bakımından kalitede sağlanan iyileşmenin biyolojik kalite unsurlarındaki iyileşme ile desteklenmesi de önem arz etmektedir.

Su kalite izleme parametrelerinin değerlendirilmesi, izleme noktalarında kirliliği temsil eden parametrelerin belirlenmesi ve üç farklı su kalite indeks modeli kullanılarak su kalite derecelendirmesinin yapılması çalışmanın bir diğer adımını oluşturmaktadır.

GMTY modeli, havza yönetimine yönelik su kalitesine dayalı yaklaşımın önemli bir unsurudur. Çıktılar, hesaplama modeline dahil edilen parametre bazında su kalitesinin mevcut durumunu yansıtmaktadır. Ancak sadece hesaplama modelinde yer alan parametreler havzanın su kalitesini temsil etmez bu nedenle kapsamlı bir şekilde izlenen tüm su kalite parametrelerinin değerlendirmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Su kaynaklarının kalitesi; kentsel atıksu deşarjları, endüstriyel faaliyetler kaynaklı deşarjlar, tarımsal faaliyetlerin sebep olduğu akışlar ve atıksu arıtma tesislerinin deşarjlarının yol açtığı kirlilikler sebebiyle değişmektedir. Her bir su kütlesi aynı tür kirletici kaynaktan etkilenmemekte bu sebeple su kütlelerinin maruz bırakıldığı kirlilik kaynak türlerine göre izleme noktalarındaki kirliliği temsil eden parametrelerde değişkenlik göstermektedir.

Su kalite gözlem istasyonları aylık izleme sonuçlarına göre iki nehir havzası için su kalite durum değerlendirilmesi yapılmıştır. Toplam 26 su kalite izleme parametresi (pH, T, renk, bulanıklık, E.İ, AKM, % doygunluk, Ç.O, BOİ<sub>5</sub>, KOİ, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, TKN, TN, oPO<sub>4</sub>, TP, Mn, Se, Cl<sup>-</sup>, Pb, Cu, Ni, Fe, Zn, Al, Cr) Kızılırmak Havzası Aşağı Kızılırmak Alt Havza sınırlarında yer alan 8 gözlem istasyon verileri ile Yeşilirmak Havzasında 36 gözlem istasyon verileri değerlendirmeye dahil edilmiştir. Su kalite durum değerlendirmesi su kalite izleme sonuçları yıllık ortalama değerlerine ve Hazen karakteristik su kalite değeri belirleme yöntemine göre yapılmıştır.

Kızılırmak Nehir Havzası için karakteristik değerler dikkate alınarak bir değerlendirme yapıldığında, istasyonlar ve izlenen parametrelerin tümü birlikte değerlendirildiğinde nehir havzası sınıf I su kalite kategorisini temsil etmektedir. Havzadaki su kalite sınıflarının yüzdesel dağılımı ise sırasıyla sınıf I %53, sınıf II %20,7 ve sınıf III %26,3 değeri ile temsil edilmektedir. Her bir parametre için genel su kalite sınıflandırması ve karakteristik değer ölçeğinde su kalite sınıflandırmasını değerlendirildiğinde; birçok parametrenin aynı su kalite sınıfında yer aldığı, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, renk, toplam fosfor ve çinko parametrelerinin kalite sınıflarının değiştiği tespit edilmiştir. Toplam fosfor parametresi ortalama değeri ile sınıf II kategorisinde yer alırken hesaplanan karakteristik değere göre sınıf III su kalite sınıfında yer almıştır. Diğer parametreler ise ortalama değeri ile sınıf I kategorisinde yer alırken hesaplanan karakteristik değere göre sınıf II su kalite sınıfında yer almıştır. Havzada izlenen çözünmüş oksijen, kimyasal oksijen ihtiyacı, klor ve bazı ağır metaller (bakır, kurşun ve nikel) havzada baskın olarak sınıf I su kalite sınıfını temsil etmektedir. Toplam fosfor, ortofosfat fosforu, iletkenlik, nitrat azotu, toplam azot ve bulanıklık havzadaki baskın olarak sınıf III su kalite sınıfında yer almaktadır.

Yeşilırmak nehir havzası için karakteristik değerler dikkate alınarak bir değerlendirme yapıldığında, istasyonlar ve izlenen parametrelerin tümü birlikte değerlendirildiğinde nehir havzası sınıf I su kalite kategorisini baskın olarak temsil ettiği sonucuna varılmıştır. Havzadaki su kalite sınıflarının yüzdesel dağılımı ise sırasıyla sınıf I %43,7, sınıf II %18,6 ve sınıf III %37,7 'dir. Her bir parametre için genel su kalite sınıflandırması ve karakteristik değer ölçeğinde su kalite sınıflandırması değerlendirildiğinde; birçok parametre aynı su kalite sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı, renk, toplam fosfor, toplam azot, bulanıklık, alüminyum ve çinko parametrelerinin kalite sınıfları değiştiği belirlenmiştir. Kalite sınıfı değişen bu 7 parametre ortalama değeri ile sınıf II kategorisinde yer alırken hesaplanan karakteristik değere göre sınıf III su kalite sınıfında yer almıştır. Havzada izlenen çözünmüş oksijen, kimyasal oksijen ihtiyacı, klor ve bazı ağır metaller (bakır, kurşun, nikel ve çinko) havzada baskın olarak sınıf I su kalite sınıfını temsil etmektedir. Toplam fosfor, ortofosfat fosforu, nitrat azotu, toplam azot, toplam kjeldahl azotu ve bulanıklık havzadaki baskın olarak sınıf III su kalite sınıfında yer almaktadır. Nehir havzasında azot ve türevlerinin hesaplanan karakteristik değerleri istikrarlı bir şekilde sınıf III su kalite kategorisinde kaldığı belirlenmiştir. İstasyonlar arasında ortalama/karakteristik değerlerde gözlemlenen farklılıklar dikkate alındığında, su kalitesinin mekâna bağlı olarak değişim gösterdiği de gözlemlenmektedir.

Su kalitesini yönetmeliklere göre değerlendirmek, karmaşık su kalitesi verilerini özetlemek, uzman olmayan ve teknik bilgisi eksik olan kişiler için anlaşılır düzeyde sonuçlar sunmak için su kalite indeksleri bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Kızılırmak ve Yeşilırmak Nehir Havzalarında dünya çapında bilinen ve yaygın olarak kullanılan Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi (USV-SKİ), Kanada Çevre Bakanlığı Su Kalite İndeksi (KÇBK-SKİ); sınırlı sayıda çalışmada kullanılan Bulanık Su Kalite İndeksi (B-SKİ) karşılaştırmalı olarak başarıyla uygulanmış ve çalışma bölgelerinin su kalitesini sınıflandırmada en uygun indeks yöntemi belirlenmiştir. On iki izleme dönemi için Kızılırmak 8 istasyon ve Yeşilırmak 36 istasyon olmak üzere toplam 44 istasyondan su kalitesi gözlem istasyon verileri ile hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmada her iki nehir havzasına ait aylık su kalitesi analiz sonuçları kullanılarak su kalitesi indeksleri yıllık olarak hesaplanmıştır. Ulusal Sanitasyon Vakfı (USV) su kalite indeks

hesaplamasında sıcaklık, pH, bulanıklık, çözülmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, toplam fosfat, toplam nitrat parametrelerine ait hesaplama verilerinden yararlanılmıştır.

Kızılırmak Havzasında yer alan istasyonlardaki USV su kalite indeks değerlendirmesi yapıldığında “Mükemmel”, “Kötü” ve “Çok Kötü” kategorisine giren su kütlesi örneği bulunmazken, “İyi” su kalite derecesine sahip 4 örnekleme noktası ve “Orta” su kalite derecesine sahip 4 örnekleme noktası mevcuttur. Genel durum değerlendirildiğinde USV SKİ hesaplama modeline göre su kalitesi “İyi” ve “Orta” dereceye sahip örnekleme noktası sayısı eşit olduğu için hesaplanan puanlara göre bir değerlendirme yapıldığında, tüm puanların ortalaması 69,50 olarak belirlenmiştir. Bu durum su kalitesinin “Orta” dereceye sahip olduğunu ifade etmektedir.

Yeşilirmak Havzasında yer alan istasyonlardaki USV su kalite indeks değerlendirmesi yapıldığında “Mükemmel” ve “Çok Kötü” kategorisine giren su kütlesi örneği bulunmazken, “İyi” su kalite derecesine sahip 7 örnekleme noktası, “Orta” su kalite derecesine sahip 24 örnekleme noktası ve “Kötü” su kalite derecesine sahip 5 örnekleme noktası mevcuttur. Genel durum değerlendirildiğinde USV SKİ hesaplama modeline göre su kalitesi “Orta” seviye olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada her iki nehir havzası için Kanada Çevre Bakanlığı su kalitesi indeks (KÇBK-SKİ) modeli uygulanırken 18 adet su kalite parametresi kullanılmıştır. Su Çerçeve Direktifinde ve Yönetmelikte belirtilen yerüstü su kaynaklarının iyi su durumuna ulaşılması hedefleri doğrultusunda nehir havzalarındaki örnekleme istasyonlarında izlenen parametrelerin hedef değerlerinin belirlenmesinde iyi su kalite durumuna uygun sınır değer olarak Sınıf II kategorisi için belirtilen değerler alınmıştır. Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi (KÇBK) su kalite indeks hesaplama modelinde 18 su kalite izleme parametresi (kimyasal oksijen ihtiyacı, renk, çözülmüş oksijen, iletkenlik, amonyum azotu, kjeldahl azotu, toplam azot, ortofosfat fosforu, mangan, selenyum, klor, kurşun, nikel, bakır, çinko, alüminyum, demir, krom) kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve su kalite derecesi belirlenmiştir.

Kızılırmak Havzasında yer alan istasyonlardaki KÇBK su kalite indeks değerlendirmesi yapıldığında “Mükemmel” su kalite derecesine sahip 2 izleme noktası, “İyi” su kalite derecesine sahip 3 izleme noktası, “Orta” su kalite derecesine sahip 1

izleme noktası, “Zayıf” su kalite derecesine sahip 1 izleme noktası ve “Çok Kötü” su kalite derecesine sahip 1 izleme noktası mevcuttur. Genel durum değerlendirildiğinde KÇBK SKİ hesaplama modeline göre su kalitesi “Orta” seviyede olduğu belirlenmiştir.

Yeşilırmak Havzasında yer alan istasyonlardaki KÇBK su kalite indeks değerlendirmesi yapıldığında “Mükemmel” su kalite derecesine sahip 10 izleme noktası, “İyi” su kalite derecesine sahip 11 izleme noktası, “Orta” su kalite derecesine sahip 8 izleme noktası, “Zayıf” su kalite derecesine sahip 2 izleme noktası ve “Çok Kötü” su kalite derecesine sahip 5 izleme noktası mevcuttur. Genel durum değerlendirildiğinde KÇBK SKİ hesaplama modeline göre su kalitesi “Orta” seviyede olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada elde edilen deneysel veriler kullanılarak bulanık mantık yöntemi ile tahmin modeli oluşturulmuştur. Modelleme için MATLAB yazılımı kullanılmış ve “Mamdani” modeli uygulanarak su kalite indeks değerleri hesaplanmıştır. Modelin kurulumu için girdi parametresi olarak 26 su kalite parametresini kullanmak çok fazla kural oluşturmayı gerektirir bu da modelin uygulanmasını zorlaştırır. Girdi parametrelerini uygun bir metodla azaltmak modelin güvenilirliğini arttırmaktadır. Temel Bileşen Analizi uygulanarak zamansal ve mekansal değişimi temsil eden parametreler belirlenmiş ve bulanık mantık girdi verisi olarak kullanılmıştır.

Kızılırmak Havzası temel bileşen analizi sonuçlarına göre faktör ortak varyans değere 1’e en yakın olan on değişken (AKM, ÇO, KOI, TP, TN, NH<sub>4</sub>-N, Se, Pb, Ni ve Cr) örnekleme noktalarındaki kirliliği temsil eden parametreler olarak kabul edilmiştir. Havzada yer alan istasyonlardaki bulanık su kalite indeks değerlendirmesi yapıldığında “Mükemmel” ve “Çok Kötü” kategorisine giren su kütlesi örneği bulunmazken, “İyi” su kalite derecesine sahip 2 örnekleme noktası ve “Orta” su kalite derecesine sahip 5 örnekleme noktası ve “Kötü” kategorisine giren 1 örnekleme noktası mevcuttur. Genel durum değerlendirildiğinde Bulanık mantık modeline göre su kalitesi “Orta” dereceye sahip olduğu belirlenmiştir.

Yeşilırmak Havzası temel bileşen analizi sonuçlarına göre faktör ortak varyans değere 1’e en yakın olan yedi değişken (Ç.O, % Doygunluk, oPO<sub>4</sub>, TN, TKN, Ni ve Cr) örnekleme noktalarındaki kirliliği temsil eden parametreler olarak kabul edilmiştir. Havzada tüm örnekleme noktaları için elde edilen bulanık su kalite indeks

çıktıları değerlendirildiğinde “Mükemmel” ve “Çok Kötü” kategorisine giren su kütlesi örneği bulunmazken, “İyi” su kalite derecesine sahip 3 örnekleme noktası, “Orta” su kalite derecesine sahip 28 örnekleme noktası ve “Kötü” su kalite derecesine sahip 5 örnekleme noktası mevcuttur. Genel durum değerlendirildiğinde bulanık mantık model çıktılarına göre su kalitesi “Orta” seviyede olduğu belirlenmiştir.

Tüm indeksler birlikte değerlendirilip her iki havza için en uygulanabilir indeks modellerinin belirlenmesi için uygulanan üç indeks modeline korelasyon matrisi uygulanmıştır. Matris sonuçları değerlendirilirken “korelasyon değerleri 1’e ne kadar yakınsa sonuçların birbiriyle benzerliği de o kadar yüksektir” tanımlaması dikkate alınmıştır. Kızılırmak Havzasında, KÇBK-SKİ ve B-SKİ’nin korelasyon değerinin 0,699 olup 1’e yakındır. B-SKİ ile USV-SKİ indekslerinin korelasyonu ise 0,181 olarak bulunurken KÇBK-SKİ ile USV-SKİ indeksleri arasında negatif ilişki bulunmuştur. Böylece Kanada Çevre Bakanlığı su kalite indeks modeli ve bulanık tabanlı su kalite indeks modelinin uyumlu ve çok yakın sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur.

Yeşilırmak Havzasında KÇBK-SKİ ve USV-SKİ su kalite indekslerinin korelasyonu 0,683 olup 1’e yakındır. B-SKİ ile USV-SKİ indekslerinin korelasyonu ise 0,460 olarak bulunurken en düşük korelasyon (0,446) KÇBK-SKİ ile B-SKİ indeksleri arasında bulunmuştur. Böylece Kanada Çevre Bakanlığı su kalite indeks modeli ve Ulusal Sanitasyon Vakfı su kalite indeks modelinin uyumlu ve çok yakın sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur.

İki nehir havzasında çalışılan farklı indeks modellerinin istatistiksel olarak ilişkisi çok yakın ve uyumlu sonuçlar verirken, KÇBK-SKİ’nin iki nehir havzası için de uygulanabilir indeks modeli olduğu tespit edilmiştir. İstatistiksel sonuçlardan bağımsız bir değerlendirme yapıldığında, KÇBK indeksinin herhangi bir parametre kısıtlaması olmaması, indeks hesabına hangi parametrelerin dahil edileceğine kullanıcının karar vermesi, çalışma alanlarının su kalitesini düşüren temel parametrelerin de indeks değerinin hesaplanmasında yer alması gibi önemli avantajlara sahip olması sebebiyle su kalitesinin belirlenmesinde en uygun indekslerden biri olduğu sonucuna varılmaktadır.

Su kalitesi ve miktarının mekânsal ve zamansal değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışmalarda izleme istasyonu, dönemi ve izlenen parametrelerin fazla olması sebebiyle çok büyük veri setleriyle uğraşmak zorunda kalınmaktadır. Bu durum veri değerlendirmesi açısından hem zaman alıcı hem de karmaşıktır. Bu nedenle her iki Nehir Havzasının su kalitesindeki değişiklikleri yansıtan temel parametreleri belirlemek için temel bileşen analizi uygulanmıştır.

Kızılırmak Havzasında yer alan 8 gözlem istasyonunda izlenen 26 su kalite parametre verisi temel bileşenler analizine tabii tutulmadan önce analiz için uygun olup olmadığı KMO ve Bartlett testleri ile değerlendirilmiş ve veri setinin TBA analizi için uygun olduğu tespit edilmiştir. Verilerin analize uygunluğu incelendikten sonra 26 parametreye göre analizin ilk aşamasında 6 alt faktör olduğu belirlenmiştir. Birden çok bileşene etki eden parametreler (  $\text{BOI}_5$ , % doymunluk, T,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , pH,  $\text{oPO}_4$ , renk, iletkenlik, Mn, TKN, Cu, Fe) çıkartılıp tekrar analiz edildiğinde analiz sonucuna göre Kızılırmak Havzası için; 5 faktör oluşmuş ve oluşan bu faktörlerin toplam varyansın %95,788'ini açıkladığı görülmüştür. Analiz 14 parametre (Bulanıklık, AKM, Ç.O, KOI, TP, TN,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , Cl, Se, Al, Zn, Pb, Ni, ve Cr) ile sonlandırılmıştır.

Yeşilirmak Havzasında yer alan 36 gözlem istasyonunda izlenen 26 su kalite parametre verisi temel bileşenler analizine tabii tutulmadan önce analiz için uygun olup olmadığı KMO ve Bartlett testleri ile değerlendirilmiş ve veri setinin TBA analizi için uygun olduğu tespit edilmiştir. Verilerin analize uygunluğu incelendikten sonra 26 parametreye göre analizin ilk aşamasında 6 alt faktör olduğu belirlenmiştir. Birden çok bileşene etki eden parametreler ( $\text{BOI}_5$ , T, pH, İletkenlik, Cl, Mn, Pb) çıkartılıp tekrar analiz edildiğinde analiz sonucuna göre Yeşilirmak Havzası için; 5 faktör oluşmuş ve oluşan bu faktörlerin toplam varyansın %84,450'sini açıkladığı görülmüştür. Analiz 19 parametre ile sonlandırılmıştır. Ni, Cr,  $\text{oPO}_4$ , TKN, TN, % doymunluk, Ç.O gibi parametreler tüm varyansın büyük çoğunluğunu temsil ettiklerinden nihai kısa listeye alınan parametrelerin sayısı (7 parametre) daha da azaltılabilir. Yüksek varyansa sahip parametrelere bakıldığında Yeşilirmak Havzasındaki yayılı kirliliği temsil eden tarım (gübre kullanımı) ve hayvancılık faaliyetleri sonucu oluşan kirlilik yükü ile oldukça ilişkili olduğu görülmektedir.

Böylece su kalitesi belirlenmesi çalışmalarında çok fazla sayıda parametrenin ölçülmesi yerine önceden belirlenmiş daha az sayıdaki, kritik parametrelerin tespitinin sağlanabileceği ve rezervuarda birbiriyle bağlantılı değişen parametrelerin saptanabileceği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada genel olarak tanım ve uygulama teknikleri/aşamaları anlatılan istatistiksel yöntemlerin birçok farklı alanda kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Su kalitesinin zamansal ve mekânsal değişimini ve buna neden olan temel etmenleri belirlemek için istatistiksel yöntemler, bulanık mantık modelinin kullanılabileceği ortaya konulmuştur. Sonuç olarak su kalitesi değerlendirmesinde istatistiksel yöntemlerden; karmaşık veri setlerinin analizi ve yorumlanması, kirlilik kaynaklarının/faktörlerinin tanımlanması, etkin su kalitesi yönetimi, su kalitesindeki zamansal/mekânsal değişimlerin anlaşılması ve değişime neden olan temel etmenleri belirlemek gibi farklı işlemler için faydalanılabilmektedir.

Antropojenik faaliyetler ve küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkileri, su kaynakları üzerinde baskılara neden olarak yoğun kirliliğe sebep olabilmektedir. Kızılırmak ve Yeşilirmak Havzalarında yaygın olarak yapılan tarım ve hayvancılık faaliyetleri başta olmak üzere çeşitli faaliyetler sonucu azot ve fosfor yükündeki artış bölgedeki su kaynakları açısından tehdit unsuru oluşturmaktadır. Özellikle her iki havzada bazı izleme noktaları Kızılırmak Havzasında K-1 nolu istasyon, Yeşilirmak Havzasında Y-19 ve Y-20 nolu istasyonlar en çok kirliliğin gözlemlendiği noktalardır. Belirtilen bu istasyonlar Çorum il sınırları içerisinde yer almaktadır. Sanayinin gelişmiş olması, gözlem istasyonlarının bulunduğu yerlere yakın AAT deşarj noktasının, düzensiz depolama sahasının bulunması burada kirliliği tetikleyici unsur olmuşlardır. Bu nedenle özellikle AAT'nin boşaltıldığı hattın dikkatle izlenmesi gerekmektedir. Sonuçlar, artan nüfus, kentleşme, tarımsal faaliyetlerin artması (gübre ve pestisit kullanımı) ve iklim değişikliği ile birlikte su kalitesinin ve miktarının sürdürülebilir yönetimi ve iyi su durumunun korunması öneminin arttığını göstermektedir.

## KAYNAKLAR

- Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2012). *Water quality indices*. Elsevier.
- Akhtar, N., Ishak, M. I. S., Ahmad, M. I., Umar, K., Md Yusuff, M. S., Anees, M. T., Qadir, A., & Ali Almanasir, Y. K. (2021). Modification of the water quality index (WQI) process for simple calculation using the multi-criteria decision-making (MCDM) method: a review. *Water*, 13(7), 905.
- Akkoyunlu, A., & Akiner, M. E. (2012). Pollution evaluation in streams using water quality indices: A case study from Turkey's Sapanca Lake Basin. *Ecological Indicators*, 18, 501-511.
- Al-Janabi, Z. Z., Al-Kubaisi, A.-R., & Al-Obaidy, A.-H. M. J. (2012). Assessment of water quality of Tigris River by using water quality index (CCME WQI). *Al-Nahrain Journal of Science*, 15(1), 119-126.
- Albayrak, İ. (2012). *Ekosistem servislerine dayalı havza yönetim modelinin İstanbul-Ömerli havzası örneğinde uygulanabilirliği* [Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Alver, A., & Baştürk, E. (2019). Karasu Nehri su kalitesinin farklı su kalitesi indeksleri açısından değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(2), 488-497.
- Avrupa Çevre Ajansı. (2019). *CORINE 2018 Arazi Kullanım Verisi*. Avrupa Birliği - Avrupa Çevre Ajansı - Copernicus Programı. <https://corine.tarimorman.gov.tr/corineportal/avrupacalismalar.html>
- Ayaz, S., Aktaş, Ö., Erdoğan, N., Gürsoy, B. H., Atasoy, E., Aydöner, C., & Akça, L. (2011). Havza Bazında Yüzeysel Su Kalitesinin Değerlendirilmesi; Örnek Çalışma: Ceyhan Havzası. *1. Kıyı Bölgelerinde Çevre Kirliliği ve Kontrolü KÇKK 2011*, 17-20 Kasım 2011, Tekirdağ.
- Bashir, N., Saeed, R., Afzaal, M., Ahmad, A., Muhammad, N., Iqbal, J., Khan, A., Maqbool, Y., & Hameed, S. (2020). Water quality assessment of lower Jhelum canal in Pakistan by using geographic information system (GIS). *Groundwater for sustainable development*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100357>
- Bayat, H., Neyshaburi, M. R., Mohammadi, K., Nariman-Zadeh, N., & Irannejad, M. (2013). Improving water content estimations using penetration resistance and principal component analysis. *Soil and Tillage Research*, 129, 83-92.
- Biçer, C. A. (2011). *Göl Alt Havzaları Bazında Yayılı Kaynaklardan Oluşan N ve P Yükünün Tahmini: Burdur Havzası Örneği* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 123, İstanbul.
- Bilgin, A. (2018). Water Quality Index and Applications. *Journal of Current Researches on Engineering, Science and Technology*, 4(2), 161-170.
- Bushero, D. M., Angello, Z. A., & Behailu, B. M. (2022). Evaluation of hydrochemistry and identification of pollution hotspots of little Akaki river using integrated water quality index and GIS. *Environmental Challenges*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100587>
- Camacho, R. A., Martin, J. L., Wool, T., & Singh, V. P. (2018). A framework for uncertainty and risk analysis in total maximum daily load applications. *Environmental Modelling & Software*, 101, 218-235.
- Cantemur, C. (2022). *Su kaynaklarında mikroplastik riski ve arıtma yöntemlerinin araştırılması* [Ankara Üniversitesi]. Fen Bilimleri Enstitüsü.

- CCME. (2001). Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, Technical Report. In: Canadian Environmental Quality Guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- Chapman, D. V. (1996). *Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. CRC Press.
- Charles, K. J., Howard, G., Prats, E. V., Gruber, J., Alam, S., Alamgir, A., Baidya, M., Flora, M. S., Haque, F., & Hassan, S. Q. (2022). Infrastructure alone cannot ensure resilience to weather events in drinking water supplies. *Science of the Total Environment*, 813, 151876.
- Coşkun, S. (2022). *Türkiye’de bütüncül su kaynakları yönetimi Konya-Çumra-Karapınar alt havzası örneği* Yüksek Lisans Tezi, MEF Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Siyaset Bilimi Ve Uluslararası İlişkiler Anabilim Dalı, 184, İstanbul.
- Çapar, G. (2019). Su Kaynakları Yönetimi ve İklim Değişikliği. *İklim Değişikliği Alanında Ortak Çabaların Desteklenmesi Projesi*(s 23).
- Çevre ve Orman Bakanlığı. (2010). Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, 20 Mart 2010, RG No: 27527.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2011). Türkiye’nin İklim değişikliği uyum stratejisi ve eylem planı. *T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü İklim Değişikliği Dairesi Başkanlığı*. Ankara.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2017). *Atıksu Arıtımı Eylem Planı (2017-2023) (Erişim Tarihi: 23.02.2021)*. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/dokumanlar/atıksu-aritimi--8230-9458-20180410150458.pdf>
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2018). *Alıcı Ortam Kriterleri Bazında Deşarj Standartlarını Belirleme ve Uygulama Yöntemlerinin Geliştirilmesi (Sonuç Raporu)*.
- Debels, P., Figueroa, R., Urrutia, R., Barra, R., & Niell, X. (2005). Evaluation of water quality in the Chillan River (Central Chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index. *Environ Monit Assess*, 110(1-3), 301-322. <https://doi.org/10.1007/s10661-005-8064-1>
- Dede, Ö. T., & Sezer, M. (2017). AKSU DERESİ SU KALİTESİNİN BELİRLENMESİNDE KANADA SU KALİTESİ İNDEKS (CWQI) MODELİNİN UYGULANMASI. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3).
- Delpla, I., Jung, A.-V., Baures, E., Clement, M., & Thomas, O. (2009). Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environment international*, 35(8), 1225-1233.
- Demirel, M. (2016). *Su Kirliliğini Önlemede Bütünleşik Havza Yönetiminin Etkisi: Büyük Menderes Havzası Örneği* Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, 230, Denizli.
- Devi, P. A., Padmavathy, P., Aanand, S., & Aruljothi, K. (2017). Review on water quality parameters in freshwater cage fish culture. *International Journal of Applied Research*, 3(5), 114-120.
- Dimri, D., Daverey, A., Kumar, A., & Sharma, A. (2021). Monitoring water quality of River Ganga using multivariate techniques and WQI (Water Quality Index) in Western Himalayan region of Uttarakhand, India. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100375>
- Dinç, B. (2019). *Yeşilirmak Havzası Kıyı Şeridi Nehir ve Deniz Sedimanlarında Öncelikli Kalıcı Organik Kirleticilerin Değerlendirilmesi* Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 159, Sakarya.

- DSİ. (2018). *Kızılırmak Havzası Master Planı*. Ankara.
- DSİ. (2018). *Yeşilirmak Havzası Master Planı*. Ankara.
- DSİ. (2020). *DSİ 2020 Yılı Faaliyet Raporu* [Faaliyet Raporu]. <https://cdniys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/425/KonuIcerik/759/1107/DosyaGaleri/DS%C4%B0%202020-yili-faaliyet-raporu.pdf>
- Durmuş, M. T. (2021). *Ankara Çayı su kalitesinin NSF-WQI indeksi kullanılarak belirlenmesi ve çözüm önerilerinin değerlendirilmesi* Doktora Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 234, Eskişehir.
- Effendi, H., Romanto, & Wardiatno, Y. (2015). Water Quality Status of Ciambulawung River, Banten Province, Based on Pollution Index and NSF-WQI. *Procedia Environmental Sciences*, 24, 228-237. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.03.030>
- Eren, B., & Çelebi, A. (2018). Sakarya Nehri Su Kalitesinin İstatistiksel Veri Değerleme Yöntemleri Kullanılarak Değerlendirilmesi. *6th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 09-11 November 2018 (ISITES2018 Alanya – Antalya - Turkey)*.
- ESRI. (2014). "ArcGIS 10.1 for Desktop: Masaüstü için ArcGIS", ESRI Ankara, Türkiye.
- Fan, C., Chen, K.-H., & Huang, Y.-Z. (2021). Model-based carrying capacity investigation and its application to total maximum daily load (TMDL) establishment for river water quality management: A case study in Taiwan. *Journal of Cleaner Production*, 291. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125251>
- Gharibi, H., Mahvi, A. H., Nabizadeh, R., Arabalibeik, H., Yunesian, M., & Sowlat, M. H. (2012). A novel approach in water quality assessment based on fuzzy logic. *Journal of Environmental Management*, 112, 87-95.
- Gharibi, H., Mahvi, A. H., Nabizadeh, R., Arabalibeik, H., Yunesian, M., & Sowlat, M. H. (2012). A novel approach in water quality assessment based on fuzzy logic. *J Environ Manage*, 112, 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.07.007>
- Gholizadeh, M. H., Melesse, A. M., & Reddi, L. (2016). A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques. *Sensors*, 16(8), 1298.
- Gikas, G., Sylaios, G., Tsihrintzis, V., Konstantinou, I., Albanis, T., & Boskidis, I. (2020). Comparative evaluation of river chemical status based on WFD methodology and CCME water quality index. *Science of the Total Environment*, 745, 140849.
- Giri, S. (2021). Water quality prospective in Twenty First Century: Status of water quality in major river basins, contemporary strategies and impediments: A review. *Environmental Pollution*, 271, 116332.
- Golshan, M., Dastoorpour, M., & Birgani, Y. T. (2020). Fuzzy environmental monitoring for the quality assessment: Detailed feasibility study for the Karun River basin, Iran. *Groundwater for sustainable development*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100324>
- Gonzalez-Anton, C., & Arias, C. (2001). The incorporation of integrated management in European water policy. *IAHS PUBLICATION*, 69-74.
- Gorde, S., & Jadhav, M. (2013). Assessment of water quality parameters: a review. *J Eng Res Appl*, 3(6), 2029-2035.
- Gorsuch, R. L. (2013). *Factor analysis*. Psychology press.
- Haksevenler, B. H. G., & Ayaz, S. (2021). Noktasal ve yayılı kirletici kaynaklarının yüzeysel su kalitesi üzerinde etkisi, Alaşehir Çayı alt havzası örneği. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(4), 1258-1268.

- Horton, R. K. (1965). An index number system for rating water quality. *J Water Pollut Control Fed*, 37(3), 300-306.
- Howladar, M. F., Chakma, E., Jahan Koley, N., Islam, S., Numanbakhth, M. A. A., Ahmed, Z., Chowdhury, T. R., & Akter, S. (2021). The water quality and pollution sources assessment of Surma river, Bangladesh using, hydrochemical, multivariate statistical and water quality index methods. *Groundwater for sustainable development*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100523>
- Ichwana, I., Syahrul, S., & Nelly, W. (2016). *Water Quality Index by Using National Sanitation Foundation-Water Quality Index (NSF-WQI) Method at Krueng Tamiang Aceh* Proceeding of the First International Conference on Technology, Innovation and Society,
- İkinci, M. (2016). *Sapanca Gölü ve Gölü Besleyen Derelerde Su Kalitesinin Değerlendirilmesi* Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 136, Sakarya.
- IPCC. (2013). *Intergovernmental Panel on Climate Change AR5-Fifth Assessment Report*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Islam, A. R. M. T., Islam, H. T., Mia, M. U., Khan, R., Habib, M. A., Bodrud-Doza, M., Siddique, M. A. B., & Chu, R. (2020). Co-distribution, possible origins, status and potential health risk of trace elements in surface water sources from six major river basins, Bangladesh. *Chemosphere*, 249, 126180.
- Islam Khan, M. S., Islam, N., Uddin, J., Islam, S., & Nasir, M. K. (2022). Water quality prediction and classification based on principal component regression and gradient boosting classifier approach. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 34(8), 4773-4781. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.06.003>
- Jain, N., Yevatkar, R., & Raxamwar, T. S. (2022). Comparative study of physico-chemical parameters and water quality index of river. *Materials Today: Proceedings*, 60, 859-867. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.508>
- Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: a review and recent developments. *Philosophical transactions of the royal society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2065), 20150202.
- Kahraman, S., & Şenol, P. (2018). İklim Değişikliği: Küresel, Bölgesel ve Kentsel Etkileri. *Akademia Sosyal Bilimler Dergisi*, 353-370.
- Kalkınma Bakanlığı. (2018). *On Birinci Kalkınma Planı Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu*.
- Kanber, Ç. (2015). *Bütünleşik Nehir Havzası Yönetiminde Paydaş Katılımı: Modeller ve Süreç* Fen Bilimleri Enstitüsü]. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 227, İstanbul.
- Kaur, M., Das, S. K., & Sarma, K. (2021). Water quality assessment of Tal Chhapar Wildlife Sanctuary using water quality index (CCME WQI). *Acta Ecologica Sinica*.
- Kayadelen, H. A. (2022). *The Use Of Water Quality Index For The Estimation Of Water Quality In Ankara Stream* Ankara University Graduate School Of Social Sciences, Department Of Water Policy And Security, 76, Ankara.
- Kayıkçı, S. (2015). *Akkaya Baraj Havzasındaki Su Kirliliğinin Havza Yönetimi Yaklaşımıyla Değerlendirilmesi* Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 114, Niğde.
- Kharake, A., & Raut, V. (2020). Assessment of Water Quality Index and Correlation for the Study of Water Quality Deterioration of Pravara River. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, 8(6), 465-471. <https://doi.org/DOI: 10.12691/aees-8-6-19>

- Khazaei, B., & Hosseini, S. M. (2015). Improving the performance of water balance equation using fuzzy logic approach. *Journal of Hydrology*, 524, 538-548. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.02.047>
- Köksal, Ö. (2022). *Üniversite kampüslerinin sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Örneği* Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 186, Samsun.
- Kumar, D., & Alappat, B. J. (2009). NSF-water quality index: does it represent the experts' opinion? *Practice Periodical of Hazardous, toxic, and radioactive waste Management*, 13(1), 75-79.
- Kumar, M., Gikas, P., Kuroda, K., & Vithanage, M. (2022). Tackling water security: A global need of cross-cutting approaches. In (Vol. 306, pp. 114447): Elsevier.
- Kurt, A. (2012). *Doğancı Baraj Gölü Su Kalitesinin TBA Yardımıyla Değerlendirilmesi* Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 112, Bursa.
- Küçükönder, M., Kalkan, E., & Cırık, K. (2022). Kılavuzlu Baraj Gölü (Kahramanmaraş) Su Kalitesinin Kanada Su Kalite İndeks Sınıfı'na göre Değerlendirilmesi. *Osmaniye Korkut Ata University Journal of The Institute of Science and Technology*, 5(1), 118-142.
- Lermontov, A., Yokoyama, L., Lermontov, M., & Machado, M. A. S. (2009). River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed, Brazil. *Ecological Indicators*, 9(6), 1188-1197. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.02.006>
- Li, R., Zou, Z., & An, Y. (2016). Water quality assessment in Qu River based on fuzzy water pollution index method. *J Environ Sci (China)*, 50, 87-92. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.03.030>
- Magesh, N., Krishnakumar, S., Chandrasekar, N., & Soundranayagam, J. P. (2013). Groundwater quality assessment using WQI and GIS techniques, Dindigul district, Tamil Nadu, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 6, 4179-4189.
- Maraşlıoğlu, F., Gönülol, A., & Bektaş, S. (2018). Application of water quality index method for assessing the surface water quality status of Mert Stream in Turkey. *Biyolojik Çeşitlilik ve Koruma*, 11(3), 115-121.
- Marselina, M., Wibowo, F., & Mushfiroh, A. (2022). Water quality index assessment methods for surface water: A case study of the Citarum River in Indonesia. *Heliyon*, 8(7), e09848. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09848>
- McMichael, A. J., Woodruff, R. E., & Hales, S. (2006). Climate change and human health: present and future risks. *The Lancet*, 367(9513), 859-869. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)68079-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)68079-3)
- Mevzuat Bilgi Sistemi (2022). Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, Resmi Gazete, 30.11.2012, 28483, <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=16806&mevzuatTur=Kuru mVeKurulusYonnetmeligi&mevzuatTertip=5> (Erişim Tarihi: 18.12.2022)
- Mokarram, M., Pourghasemi, H. R., Huang, K., & Zhang, H. (2022). Investigation of water quality and its spatial distribution in the Kor River basin, Fars province, Iran. *Environ Res*, 204(Pt C), 112294. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112294>
- Moyel, M. S. (2014). Assessment of water quality of the Shatt Al-Arab River, using multivariate statistical technique. *Mesopotamia Environment Journal*, 1(1), 39-46.
- Nayak, J. G., Patil, L. G., & Patki, V. K. (2020). Development of water quality index for Godavari River (India) based on fuzzy inference system. *Groundwater for sustainable development*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100350>

- Neary, B., Cash, K., Hébert, S., Khan, H., Saffran, K., Swain, L., Williamson, D., & Wright, R. (2001). CCME water quality index 1.0 technical report, Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life.
- Nong, X., Shao, D., Zhong, H., & Liang, J. (2020). Evaluation of water quality in the South-to-North Water Diversion Project of China using the water quality index (WQI) method. *Water Res*, 178, 115781. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115781>
- Noori, R., Berndtsson, R., Hosseinzadeh, M., Adamowski, J. F., & Abyaneh, M. R. (2019). A critical review on the application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index. *Environmental Pollution*, 244, 575-587.
- Obilonu, A., Chijioke, C., Igwegbe, W., Ibearugbulem, O., & Abubakar, Y. (2013). Water quality challenges and impact. *International Letters of Natural Sciences*(04).
- Ocampo-Duque, W., Ferre-Huguet, N., Domingo, J. L., & Schuhmacher, M. (2006). Assessing water quality in rivers with fuzzy inference systems: a case study. *Environ Int*, 32(6), 733-742. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.03.009>
- Oke, A., & Sangodoyin, A. (2015). Evaluation of surface water quality characteristics in Ogun watershed of south western Nigeria using principal component analysis. *Journal of Science and Technology (Ghana)*, 35(1), 89-101.
- Oladipo, J. O., Akinwumiju, A. S., Aboyeji, O. S., & Adelodun, A. A. (2021). Comparison between fuzzy logic and water quality index methods: A case of water quality assessment in Ikare community, Southwestern Nigeria. *Environmental Challenges*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100038>
- Omer, N. H. (2019). Water quality parameters. *Water quality-science, assessments and policy*, 18, 1-34.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (2015). *Yeşilirmak Havzası Taşkın Yönetim Planı (Erişim Tarihi: 04.02.2021)*. [https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Ta%C5%9Fk%C4%B1n%20Y%C3%B6netim%20Planlar%C4%B1/1\)%20YESILIRMAK%20HAVZASI%20TA%C5%99EKIN%20Y%C3%96NETIM%20PLANI.pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Ta%C5%9Fk%C4%B1n%20Y%C3%B6netim%20Planlar%C4%B1/1)%20YESILIRMAK%20HAVZASI%20TA%C5%99EKIN%20Y%C3%96NETIM%20PLANI.pdf)
- Su Havzalarının Korunması ve Yönetim Planlarının Hazırlanması Hakkında Yönetmelik, R. G. Sayı : 28444, Tarih: 17.10.2012., (2012).
- Ölmez, G. (2014). *Yerüstü Su Kaynaklarında Su Kalitesinin İyileştirilmesi İçin Çevresel Hedeflerin Belirlenmesi* Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Uzmanlık Tezi, 208, Ankara.
- Paca, J. M., Santos, F. M., Pires, J. C., Leitão, A. A., & Boaventura, R. A. (2019). Quality assessment of water intended for human consumption from Kwanza, Dande and Bengo rivers (Angola). *Environmental Pollution*, 254, 113037.
- Parween, S., Siddique, N. A., Diganta, M. T. M., Olbert, A. I., & Uddin, M. G. (2022). Assessment of urban river water quality using modified NSF water quality index model at Siliguri city, West Bengal, India. *Environmental and Sustainability Indicators*, 16, 100202.
- Quiñones-Huatangari, L., Ochoa T, L., Milla-Pino, M. E., Bazán C, J., Gamarra T, O., & Rascón, J. (2020). Water quality index using fuzzy logic Utcubamba River, Peru. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 37(1), 6-18.
- REC Türkiye. (2015). *A dan Z ye İklim Değişikliği Başucu Rehberi*. ISBN: 978-975-6180-43-3. (Erişim Tarihi: 11.10.2022). [https://recturkey.files.wordpress.com/2016/11/adanzye\\_iklim\\_degisikligi\\_basucurehberi.pdf](https://recturkey.files.wordpress.com/2016/11/adanzye_iklim_degisikligi_basucurehberi.pdf)
- Sartaş, H. (2019). *Niksar Çanakçı Alt Havzası'nın Arazi Kullanımı ve Azot-fosfor Yayılı Kirlenici Kaynaklarının Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Modellenmesi* Tokat Gaziosman

Paşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilmi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, 89, Tokat.

- Schreiber, J. B. (2021). Issues and recommendations for exploratory factor analysis and principal component analysis. *Research in Social and Administrative Pharmacy*, 17(5), 1004-1011. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sapharm.2020.07.027>
- SÇD. (2022). *AB Su Çerçeve Direktifi - Avrupa için Entegre Nehir Havzası Yönetimi (Erişim Tarihi:04.11.2022)*. [https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-framework-directive\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-framework-directive_en)
- Semiromi, F. B., Hassani, A., Torabian, A., Karbassi, A., & Lotfi, F. H. (2011). Water quality index development using fuzzy logic: A case study of the Karoon River of Iran. *African journal of biotechnology*, 10(50), 10125-10133.
- Sener, S., Sener, E., & Davraz, A. (2017). Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). *Sci Total Environ*, 584-585, 131-144. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.102>
- Shrestha, S., & Kazama, F. (2007). Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling & Software*, 22(4), 464-475. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.02.001>
- Singh, N., & Katiyar, S. K. (2021). Application of geographical information system (GIS) in reducing accident blackspots and in planning of a safer urban road network: A review. *Ecological informatics*, 66, 101436.
- Sonay, Y. (2022). *Examination Of Principal Component Analysis On Hierarchical Clustering Methods In Terms Of Dimension Reduction* Master Thesis, Adana Alparslan Türkeş Science And Technology University, Graduate School Of Natural And Applied Sciences Department Of Industrial Engineering, page 135, Adana.
- Sondermann, M., Chou, S. C., Lyra, A., Latinovic, D., Siqueira, G. C., Junior, W. C., Giornes, E., & Leite, F. P. (2022). Climate change projections and impacts on the eucalyptus plantation around the Doce River basin, in Minas Gerais, Brazil. *Climate Services*, 28, 100327.
- Sutadian, A. D., Muttill, N., Yilmaz, A. G., & Perera, B. (2016). Development of river water quality indices—a review. *Environmental monitoring and assessment*, 188, 1-29.
- Sutadian, A. D., Muttill, N., Yilmaz, A. G., & Perera, B. (2018). Development of a water quality index for rivers in West Java Province, Indonesia. *Ecological Indicators*, 85, 966-982.
- Syed, M. M., Hossain, M. S., Karim, M. R., Uddin, M. F., Hasan, M., & Khan, R. H. (2023). Surface water quality profiling using the water quality index, pollution index and statistical methods: A critical review. *Environmental and Sustainability Indicators*, 100247.
- Taner, M. (2007). *Development of water quality index as a sustainability indicator in Küçükçekmece Watershed, Istanbul* Master Thesis, Boğaziçi Uni, Institute of Environmental Sciences, İstanbul ...].
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2019a). Ekosistem Esaslı Su Kalitesi Yönetimi syf 490, e-ISBN No: 978-605-82367-0-7. In.
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2019b). İçmesuyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik. *Resmi Gazete* (22.01.2023)(30823). <https://www.mevzuat.gov.tr/>
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2022a). *Kızılırmak Havzası Kuraklık Yönetim Planı Stratejik Çevresel Değerlendirme Kapsam Belirleme Raporu (Erişim Tarihi:14.10.2022)*.

[https://webdosya.csb.gov.tr/db/scd/icerikler/kizilirmak\\_kyp\\_scd\\_kapsam-20221010133031.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/scd/icerikler/kizilirmak_kyp_scd_kapsam-20221010133031.pdf)

- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2022b). *Yeşilirmak Havzası Kuraklık Yönetim Planı Stratejik Çevresel Değerlendirme Kapsam Belirleme Raporu*.
- Tian, Y., Jiang, Y., Liu, Q., Dong, M., Xu, D., Liu, Y., & Xu, X. (2019). Using a water quality index to assess the water quality of the upper and middle streams of the Luanhe River, northern China. *Science of the Total Environment*, 667, 142-151.
- Tiri, A., Belkhir, L., & Mouni, L. (2018). Evaluation of surface water quality for drinking purposes using fuzzy inference system. *Groundwater for sustainable development*, 6, 235-244. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.01.006>
- Titiz, A. M. (2020). *Su kalitesi indeksi ve bazı çoklu istatistik teknikler kullanılarak İpsala ilçesi içme suyu kalitesinin değerlendirilmesi* Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji ve Genetik Anabilim Dalı, 61, Edirne.
- Tripathi, M., & Singal, S. K. (2019). Use of Principal Component Analysis for parameter selection for development of a novel Water Quality Index: A case study of river Ganga India. *Ecological Indicators*, 96, 430-436. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.09.025>
- TUBİTAK MAM. (2010). Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması-Yeşilirmak Havzası. *TC Orman ve Su İşleri Bakanlığı-Su Yönetimi Genel Müdürlüğü*.
- TÜİK. (2022). *Türkiye Resmi İstatistik Portalı* (Erişim Tarihi:22.08.2022). <https://data.tuik.gov.tr/>
- Tung, T. M., & Yaseen, Z. M. (2020). A survey on river water quality modelling using artificial intelligence models: 2000–2020. *Journal of Hydrology*, 585, 124670.
- Turan, T., & Eren, Z. (2008). Türkiye’de su kaynakları ve su politikası. *TMOOB 2. Su Politikaları Kongresi Bildiriler Kitabı*, 1, 25-32.
- Uddin, M. G., Nash, S., & Olbert, A. I. (2021). A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators*, 122. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218>
- UN-Water. (2015). UN World Water Development Report (Access Date: 21.12.2022) <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2015>
- UN. (1997). *Guidelines and Manual Land-Use Planning and Practices in Watershed Management and Disaster Reduction*, Economic and Social Commission for Asia and the Pacific United Nations.
- UNESCO. (2009). United Nations World United Assessment Programme. The United Nations World Water Development Report 3: Water in Changing World. UNESCO, Paris and Earthscan, London (Access Date:04.09.2022). <https://digitallibrary.un.org/record/3895839>
- US EPA. (1999). Draft guidance for water quality-based decisions: The TMDL process (Second Edition) (Erişim Tarihi:10.09.2022). <https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-10/documents/guidance-water-tmdl-process.pdf>
- US EPA. (2022). *Dissolved oxygen* (Erişim Tarihi: 22.09.2022). <https://www.epa.gov/caddis-vol2/dissolved-oxygen>
- Uslu, A. (2022). *Aksu Çayı ve Acısu Deresi Su Kalitesinin Su Kalite İndeksleri Kullanılarak Değerlendirilmesi* Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 107, Antalya.].

- Ustaoğlu, F., Tepe, Y., & Taş, B. (2020). Assessment of stream quality and health risk in a subtropical Turkey river system: A combined approach using statistical analysis and water quality index. *Ecological Indicators*, 113. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105815>
- Üçler, N. (2015). *Bütünleşik Havza Yönetimi Karar Verme Mekanizmasına Oyun Teorisinin Potansiyel Katkısının Belirlenmesi* Doktora Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]. Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 107, Kocaeli.
- WEF. (2015). Global Risk Report (Access Date: 13.11.2022). [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Global\\_Risks\\_2015\\_Report15.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_2015_Report15.pdf)
- WHO. (2011). Guidelines for drinking-water quality. *World health organization*, 216, 303-304.
- Wu, Z., Lai, X., & Li, K. (2021). Water quality assessment of rivers in Lake Chaohu Basin (China) using water quality index. *Ecological Indicators*, 121. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107021>
- Yan, F., Qiao, D., Qian, B., Ma, L., Xing, X., Zhang, Y., & Wang, X. (2016). Improvement of CCME WQI using grey relational method. *Journal of Hydrology*, 543, 316-323.
- Yavuz, R. A. (2015). *Türkiye ve Dünya'da İklim Değişikliği Eylem Planları* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 68, İstanbul.
- Yıldırım, A. (2012). *Eysel Atıksulardan Modifiye Beş Kademeli Bardenpho Prosesiyle Nutrient Giderimi Ve Bulanık Mantık Yönteminin Uygulanması* Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 105, İstanbul.
- Yotova, G., Varbanov, M., Tcherkezova, E., & Tsakovski, S. (2021). Water quality assessment of a river catchment by the composite water quality index and self-organizing maps. *Ecological Indicators*, 120. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106872>
- YSKY. (2021). *Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, 16 Haziran 2021 Tarihli ve 31513 Sayılı Resmi Gazete*, Ankara.
- Yuan, W., Liu, Q., Song, S., Lu, Y., Yang, S., Fang, Z., & Shi, Z. (2023). A climate-water quality assessment framework for quantifying the contributions of climate change and human activities to water quality variations. *Journal of Environmental Management*, 333, 117441. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117441>
- Zadeh, L. A., 1965, Fuzzy sets, *Information and control*, 8 (3), 338-353.
- Zhan, S., Zhou, B., Li, Z., Li, Z., & Zhang, P. (2021). Evaluation of source water quality and the influencing factors: A case study of Macao. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 123, 103006.

## ÖZ GEÇMİŞ

Bilge AYDIN ER, Samsun Mithat Paşa Lisesi'ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümünden 03.06.2012 tarihinde mezun oldu. 2013 yılında OMÜ LEE Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programına başladı ve 04.02.2016 tarihinde bitirdi, 2016 yılında OMÜ LEE Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı doktora programına başladı. Mezuniyetinden bu yana Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliğinde Araştırma Görevlisi olarak görev yapan Bilge Aydın Er, orta derecede İngilizce bilmektedir (YDS:60). Temel ilgi alanları, su ve atıksu yönetimi, havza yönetimi, sıfır atık, kaynak verimliliği (01.04.2023).

### İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0002-6546-0089

### Yayınlar:

1. Aydın Er Bilge, Şişman Aziz, Ardalı Yüksel (2022). Applicability of radial-based artificial neural networks (RBNN) on coliform calculation: A case of study. Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 40(4), 1-8., Doi: 10.14744/sigma.2022.00000
2. Aydın Er Bilge, Odabaş Mehmet Serhat, Şenyer Nurettin, Ardalı Yüksel (2022). Evaluation of Deep Sea Discharge Systems Efficiency in the Eastern Black Sea Using Artificial Neural Network: a Case Study for Trabzon, Turkey. BRAZILIAN ARCHIVES OF BIOLOGY AND TECHNOLOGY(65), Doi: 10.1590/1678-4324-2022210397
3. Köksal Özge, Aydın Er Bilge, Ardalı Yüksel (2020). Zero waste management: a case study. International Journal of Global Warming, 21(2), 189
4. Aydın Er Bilge, Ayeri Tolga, Şişman Yasemin, Ardalı Yüksel (2018). Evaluation of the anthropogenic impact in Suat Ugurlu Dam lakeusing multivariate statistical techniques. Global NEST Journal, 20(1), 161-168.
5. Aydın Er Bilge, Ayeri Tolga, Aydın Temel Fulya, Turan Nurdan Gamze, Ardalı Yüksel (2017). Management Model of Lakes as a tool for planning the remediation of Suat Uğurlu Lake. Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 5(7), 732, Doi: 10.24925/turjaf.v5i7.732-738.1118
6. Aydın Er Bilge, Er Nuri, Ardalı Yüksel (2022). Research on Environmental Problems and People's Environmental Sensitivity; A case study. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 24(71), 395-401., Doi: 10.21205/deufmd.2022247106

7. Köksal Özge, Aydın Er Bilge, Ardalı Yüksel, Sağlam Mustafa (2019).  
Biyoplastiklerin Biyodegradasyonu. Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri  
Dergisi, 4(2), 151-167.

