

**YUKARI SAKARYA NEHİRİ'NDE SU KALİTESİNDEKİ MEVSİMSEL
DEĞİŞİMLERİN İNDEKSLERE BAĞLI OLARAK BELİRLENMESİ VE
KİRLETİCİ KAYNAKLARINA GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Mesut ÇİFTÇİ

Doktora Tezi

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Arzu ÇİÇEK

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Haziran 2021

Bu tez çalışması BAP Komisyonu tarafından kabul edilen 1802F031 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

ÖZET

YUKARI SAKARYA NEHRİ'NDE SU KALİTESİNDEKİ MEVSİMSEL DEĞİŞİMLERİN İNDEKSLERE BAĞLI OLARAK BELİRLENMESİ VE KİRLETİCİ KAYNAKLARINA GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

Mesut ÇİFTÇİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Haziran 2021

Danışman: Prof. Dr. Arzu ÇİÇEK

Miktarları her geçen yıl azalan su kaynaklarının kullanılabilirliğinin bir ölçüsü olarak tanımlanan su kalitesi kavramı, pek çok farklı parametre kullanılarak ifade edilmektedir. Bu parametrelerin değerlendirilmeye çalışılmasında çeşitli zorlukların ve yorum farklarının ortaya çıkması nedeni ile su kalite indeksleri oluşturulmuştur. Bu çalışma kapsamında, Yukarı Sakarya Nehri'nde belirlenen 12 istasyonda çeşitli su kalite indekslerine bağlı olarak mevsimsel izleme çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen veriler ile dünyada yaygın olarak kullanılan su kalite indeksleri (NSF-WQI, CWQI, OWQI), kullanılarak su kalitesinin mevsimlere bağlı değişimi belirlenmiştir. CWQI'in hesaplanmasında, kullanım amacı bazlı ve referans nokta bazlı limit değerler oluşturularak, üç farklı senaryo için su kalite indeksi hesaplanmıştır. Kullanılan indekslerde, mevsimler arasında birbiri ile en uyumlu sonuçlar NSF-WQI ile elde edilirken, akarsuyun mevcut kalite durumunu en iyi yansıtan sonuçlar, CWQI'de II. sınıf su kullanım amacı limitleri dikkate alınarak yapılan hesaplamalar ile elde edilmiştir. Kullanım amacı bazlı su kalitesi indeksinin, akarsuların gerçek kalite durumlarını yansıtmak için kullanılabilecek etkili bir indeks olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde Ankara Çayı baskın kirlilik kaynağı olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Su kalitesi indeksi, Kanada su kalitesi indeksi, NSF-WQI, Oregon su kalitesi indeksi, Kullanım amacı bazlı su kalitesi indeksi

ABSTRACT

INDEX BASED ON DETERMINATION OF SEASONAL CHANGES IN WATER QUALITY OF UPPER SAKARYA RIVER AND EVALUATION BASED UPON POLLUTION SOURCES

Mesut ÇİFTÇİ

Department of Environmental Engineering

Programme in Environmental Sciences

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, June 2021

Supervisor: Prof. Dr. Arzu ÇİÇEK

The concept of water quality that is defined as availability criteria of diminishing water resources year after year is stated by using many different parameters. By the reason of various difficulties and differences in interpretation in the evaluation of these parameters, water quality indices were established. Within this study, seasonal monitoring studies depending various water quality indexes have been done at twelve stations which are identified in Upper Sakarya River. By the help of the obtained data, the river's quality situation has been determined via three widely used Water Quality Indexes (NSF-WQI, CWQI and OWQI). In calculating CWQI, intended use based and reference point based limit values were put together and water quality indexes were calculated for three different scenarios. While the most compatible results in between seasons were obtained by NSF-WQI, the most similar results of current quality situations of the river were obtained by CWQI calculation, which took account of the intended use limits of 2nd class water. It was detected that Intended Use Based Water Quality Index is an effective index that can be used for representing existing water quality of streams. When the results received were evaluated according to pollutive sources, Ankara Creek was detected as major source of pollution.

Keywords: Water quality index, Canada water quality index, NSF-WQI, Oregon water quality index, Intended use based water quality index.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince beni teşvik eden, çalışmalarım boyunca desteğini esirgemeyen sevgili hocam Prof. Dr. Arzu ÇİÇEK'e, bu tezin ortaya koyduğu “yeni bir su kalitesi indeksi oluşturma bakış açısını” bana kazandıran kıymetli hocam Prof. Dr. Özgür EMİROĞLU'na,

Tez çalışmamın temellerini oluşturan arazi çalışmalarında, tüm mevsim ve yol şartlarına rağmen, ihtiyacımız olan örnekleri toplamaktan bir an olsun sakınmayan hocalarım Doç. Dr. Esengül KÖSE ve Öğr. Gör. Dr. Sadi AKSU'ya,

Tüm akademik yaşamım boyunca maddi ve manevi tüm desteğiyle yanımda olan yegane kardeşim, başarılarımın ortağı, fikir ve yol arkadaşım Çevre Yüksek Mühendisi (Uzman) Alper UĞURLUOĞLU'na (nice güzel “başlangıçlara” hep birlikte),

Tez çalışmalarımız boyunca başımıza gelen her türlü aksilikten omuz omuza çıkmayı başardığımız değerli arkadaşım ve büyüğüm Kimya Yüksek Mühendisi Muhammed Tarık DURMUŞ'a,

Laboratuvar çalışmalarım boyunca sabrına hayran olduğum ve tecrübelerinden faydalandığım kıymetli arkadaşım Dr. Merve ŞAHİN'e, tez yazım sürecinde verdiği katkılardan dolayı Çevre Yüksek Mühendisi Ümit SARIDOĞAN'a,

Bizzat elinin “emeğiyle” başta laboratuvar çalışmalarım olmak üzere evde, işte ve tüm hayatımda bana destek olan sevgili eşim Biyolog Merve ÇİFTÇİ'ye ve doğumuyla bizleri mutluluğa boğan yavrumuz Mert Ekin'e,

teşekkür ederim.

Mesut ÇİFTÇİ

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Mesut ÇİFTÇİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
GÖRSELLER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. SU KALİTESİ.....	5
2.1. Su Kalitesi İndeksleri.....	9
2.2. Parametreler.....	18
2.2.1. Çözünmüş oksijen	19
2.2.2. Fekal koliform	20
2.2.3. pH	22
2.2.4. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı	24
2.2.5. Nitrat	25
2.2.6. Toplam Fosfor	28
2.2.7. Sıcaklık.....	30
2.2.8. Bulanıklık	31
2.2.9. Toplam Katı Madde.....	32
2.2.10. Amonyum	33
2.3. Çalışmada Kullanılan Su Kalitesi İndeksleri	34

2.3.1.	Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeksi (National Sanitation Foundation Water Quality Index – NSF WQI).....	34
2.3.2.	Kanada Su Kalite İndeksi (Canadian Water Quality Index)	41
2.3.3.	Oregon Su Kalite İndeksi (Oregon Water Quality Index).....	44
2.3.4.	Kullanılan Su Kalitesi İndekslerinin Karşılaştırılması	51
2.3.5.	Ulusal Mevzuat.....	55
3.	MATERYAL VE METOT	59
3.1.	Çalışma Alanı ve Özellikleri	59
3.2.	Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları	68
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	74
4.1.	Su Kalitesi Hesaplamaları.....	74
4.2.	Su Kalitesi İndeksi Hesaplamaları	87
4.2.1.	Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeksi'ne Göre Değerlendirme	87
4.2.2.	Kanada Su Kalitesi İndeksi'ne Göre Değerlendirme.....	98
4.2.3.	Oregon Su Kalitesi İndeksi'ne Göre Değerlendirme.....	109
4.2.4.	Kullanılan Su Kalitesi İndekslerinin Birlikte Değerlendirilmesi	
	116	
4.3.	İstatiksel Analiz.....	120
5.	SONUÇ	130
	KAYNAKÇA.....	138
	EKLER	150
	ÖZGEÇMİŞ	

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Sucul Zehirlilik İndeksi için kategoriler.....	12
Çizelge 2.2. Toplam Kirlilik İndeksi için kategoriler.....	12
Çizelge 2.3. Evrensel Su Kalitesi İndeksi için kategoriler	13
Çizelge 2.4. Ağırlıklı Aritmetik Su Kalitesi İndeksi	13
Çizelge 2.5. Su kalitesin indekslerinin hesaplanmasında ihtiyaç duyulan parametreler	19
Çizelge 2.6. Enterobacteriaceae familyasının sınıflandırma piramidi.....	21
Çizelge 2.7. Enterobacteriaceae familyasının bazı özellikleri.....	21
Çizelge 2.8. NFS-WQI’da kullanılan parametrelerin önem sırası ve ağırlık faktörleri.....	35
Çizelge 2.9. NSF-WQI yöntemi için su kalitesi değerleri ve kalite sınıfları.....	40
Çizelge 2.10. CWQI yöntemi için su kalitesi değerleri ve kalite sınıfları.....	43
Çizelge 2.11. OWQI yöntemi için su kalitesi değerleri ve kalite sınıfları.....	51
Çizelge 2.12. NSF-WQI’in değerlendirilmesi.....	52
Çizelge 2.13. CWQI’in değerlendirilmesi	52
Çizelge 2.14. OWQI’nin değerlendirilmesi	54
Çizelge 2.15. Türkiye’de yürürlükte olan su mevzuatı	57
Çizelge 3.1. Sakarya Havzası içerisinde yer alan önemli akarsular	60
Çizelge 3.2. Yukarı Sakarya Nehri’ni ve kollarını alıcı ortam olarak kullanan atıksu arıtma tesisleri	62
Çizelge 3.3. İstasyonlara ilişkin konum bilgileri ve açıklamalar	64
Çizelge 3.4. Kullanılan kitlelere göre deney standartları	71
Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan yedi parametre için uyarlanmış ağırlık faktörleri.....	88
Çizelge 4.2. Her istasyonun mevsimsel bazda NSF-WQI kalite sınıfları	95
Çizelge 4.3. CWQI hesaplamasında kullanılan parametreler	98
Çizelge 4.4. I. sınıf su kullanımları için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış CWQI değerleri ve kalite sınıfları.....	101
Çizelge 4.5. II. sınıf su kullanımları için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış CWQI değerleri ve kalite sınıfları.....	103
Çizelge 4.6. Referans nokta için belirlenen sınır değerlere göre hesaplanmış CWQI değerleri ve kalite sınıfları.....	105

Çizelge 4.7. Her istasyonun mevsimsel bazda OWQI skorları	110
Çizelge 4.8. Tüm istasyonların OWQI kalite sınıfları	110
Çizelge 4.9. NSF-WQI için korelasyon matrisi.....	121
Çizelge 4.10. NSF-WQI için tanımlayıcı istatistikler.....	121
Çizelge 4.11. CWQI I. Sınıf su kullanım amacı parametreleri için korelasyon matrisi	123
Çizelge 4.12. CWQI I. sınıf su kullanım amacı parametreleri için tanımlayıcı istatistikler.....	124
Çizelge 4.13. CWQI II. sınıf su kullanım amacı parametreleri için korelasyon matrisi	125
Çizelge 4.14. CWQI II. sınıf su kullanım amacı parametreleri için tanımlayıcı istatistikler.....	125
Çizelge 4.15. CWQI referans noktaya göre su kalitesi parametreleri için korelasyon matrisi	125
Çizelge 4.16. CWQI referans noktaya göre su kalitesi parametreleri için tanımlayıcı istatistikler	126
Çizelge 4.17. OWQI için korelasyon matrisi	128
Çizelge 4.18. OWQI için tanımlayıcı istatistikler	128

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Sıcaklık değişimi için Q değerleri	36
Şekil 2.2. pH için Q değerleri	36
Şekil 2.3. Çözünmüş oksijen için Q değerleri	37
Şekil 2.4. BOİ ₅ için Q değerleri	37
Şekil 2.5. Nitrat için Q değerleri.....	38
Şekil 2.6. Toplam fosfor için Q değerleri	38
Şekil 2.7. Bulanıklık için Q değerleri	39
Şekil 2.8. Fekal koliform için Q değerleri	39
Şekil 2.9. Toplam katı madde için Q değerleri	40
Şekil 2.10. İndeksin hesaplama mantığını gösteren konsept	41
Şekil 2.11. Çözünmüş oksijen derişimi için alt-indis değeri	47
Şekil 2.12. Çözünmüş oksijen doygunluğu için alt-indis değeri	47
Şekil 2.13. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ ₅) için alt-indis değeri.....	48
Şekil 2.14. Amonyak + Nitrat azotu için alt-indis değeri	48
Şekil 2.15. Toplam fosfor için alt-indis değeri	49
Şekil 2.16. Sıcaklık için alt-indis değeri	49
Şekil 2.17. Toplam katı madde için alt-indis değeri	50
Şekil 2.18. pH için alt-indis değeri	50
Şekil 2.19. Fekal koliform için alt-indis değeri	51
Şekil 3.1. Çalışma süresince bölgede yağış dağılımı.....	72
Şekil 3.2. Çalışma süresince bölgede sıcaklık dağılımı.....	72
Şekil 3.3. Çalışma süresince bölgede bağıl nem dağılımı	73
Şekil 4.1. Çalışma süresince ölçülen sıcaklık değerleri.....	74
Şekil 4.2. Çalışma süresince ölçülen çözünmüş oksijen derişimi değerleri	75
Şekil 4.3. Çalışma süresince ölçülen çözünmüş oksijen doygunluğu değerleri	75
Şekil 4.4. Çalışma süresince ölçülen pH değerleri	76
Şekil 4.5. Çalışma süresince ölçülen elektriksel iletkenlik değerleri	77
Şekil 4.6. Çalışma süresince ölçülen tuzluluk değerleri	77
Şekil 4.7. Çalışma süresince ölçülen bulanıklık değerleri	78
Şekil 4.8. Çalışma süresince ölçülen sülfat değerleri	79
Şekil 4.9. Çalışma süresince ölçülen amonyum azotu değerleri	80

Şekil 4.10. Çalışma süresince ölçülen nitrit azotu değerleri.....	80
Şekil 4.11. Çalışma süresince ölçülen nitrat azotu değerleri.....	81
Şekil 4.12. Çalışma süresince ölçülen toplam fosfor değerleri	81
Şekil 4.13. Çalışma süresince ölçülen kimyasal oksijen ihtiyacı değerleri	82
Şekil 4.14. Çalışma süresince ölçülen biyokimyasal oksijen ihtiyacı değerleri	83
Şekil 4.15. Çalışma süresince ölçülen fekal koliform değerleri	84
Şekil 4.16. Sonbahar mevsimi için NSF-WQI değerleri	89
Şekil 4.17. Kış mevsimi için NSF-WQI değerleri.....	91
Şekil 4.18. İlkbahar mevsimi için NSF-WQI değerleri	92
Şekil 4.19. Yaz mevsimi için NSF-WQI değerleri	94
Şekil 4.20. Tüm mevsimlerde ölçülen NSF-WQI değerleri	95
Şekil 4.21. I. sınıf su kullanımları için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış CWQI değerleri.....	102
Şekil 4.22. II. Sınıf su kullanımları için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış CWQI değerleri.....	104
Şekil 4.23. Referans nokta için belirlenen sınır değerlere göre hesaplanmış CWQI değerleri ve kalite sınıfları	106
Şekil 4.24. Üç farklı yaklaşıma göre CWQI değerleri	108
Şekil 4.25. Sonbahar mevsimi OWQI değerleri	111
Şekil 4.26. Kış mevsimi OWQI değerleri.....	112
Şekil 4.27. İlkbahar mevsimi OWQI değerleri.....	113
Şekil 4.28. Yaz mevsimi OWQI değerleri.....	115
Şekil 4.29. Tüm mevsimlerde ölçülen OWQI değerleri	116
Şekil 4.30. Tüm su kalitesi indekslerinin istasyonlara göre değişimi	117
Şekil 4.31. NSF-WQI için kutu grafiği (Fekal koliform parametresi hariç)	122
Şekil 4.32. NSF-WQI için kutu grafiği (Fekal koliform parametresi için)	122
Şekil 4.33. CWQI 1. Sınıf su kalitesi parametreleri için kutu grafiği	124
Şekil 4.34. CWQI 2. Sınıf su kalitesi parametreleri için kutu grafiği	126
Şekil 4.35. CWQI referans noktaya göre su kalitesi parametreleri için kutu grafiği ...	127
Şekil 4.36. OWQI için kutu grafiği (Fekal koliform parametresi hariç)	129
Şekil 4.37. OWQI için kutu grafiği (Fekal koliform parametresi için)	129

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 2.1. Azot döngüsü.....	27
Görsel 2.2. Fosfor döngüsü	29
Görsel 3.1. Sakarya Nehri Havzası sınırları.....	60
Görsel 3.2. Sakarya Nehri Havzası'nın alt havzaları.....	61
Görsel 3.3. Sakarya Havzası'nda kentsel hassas alanlar	63
Görsel 3.4. Sakarya Havzası'nda nitrata hassas alanlar.....	64
Görsel 3.5. Çalışma alanını ve izleme istasyonlarını gösterir harita.....	66
Görsel 3.6. 1 no.lu istasyondan (membra) görünüş	66
Görsel 3.7. 12 no.lu istasyondan (mansap) görünüş	67
Görsel 3.8. Çalışma alanının arazi örtüsü (CORINE) sınıfları	68
Görsel 3.9. Analizler için kullanılan türbidimetre cihazı	69
Görsel 3.10. Ekim işlemi sonrasında besi yerlerinde gözlenen değişim.....	70
Görsel 3.11. Meteoroloji gözlem istasyonları	71
Görsel 4.1. NSF-WQI için sonbahar mevsimi değerleri	90
Görsel 4.2. NSF-WQI için kış mevsimi değerleri.....	92
Görsel 4.3. NSF-WQI için ilkbahar mevsimi değerleri	93
Görsel 4.4. NSF-WQI için yaz mevsimi değerleri.....	94
Görsel 4.5. I. sınıf su kullanımları için verilen sınır değerlere göre CWQI değerleri	102
Görsel 4.6. II. sınıf su kullanımları için verilen sınır değerlere göre CWQI değerleri	104
Görsel 4.7. Referans nokta için belirlenen su kalitesi için verilen sınır değerlere göre CWQI değerleri.....	106
Görsel 4.8. OWQI için sonbahar mevsimi değerleri.....	112
Görsel 4.9. OWQI için kış mevsimi değerleri.....	113
Görsel 4.10. OWQI için ilkbahar mevsimi değerleri	114
Görsel 4.11. OWQI için yaz mevsimi değerleri.....	115

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

μ	: Mikro
BEBKA	: Bursa Eskişehir Bilecik Kalkınma Ajansı
BOİ5	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (5 günlük)
CORINE	: Coordination of Information on the Environment
ÇO (%)	: Çözünmüş oksijen derişimi (yüzdesi)
ÇOB	: Çevre ve Orman Bakanlığı [ÇOB],
ÇŞB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü
EEA	: European Environmental Agency
EMS	: En Muhtemel Sayı
FK	: Fekal koliform
NTU	: Nephelometric Turbidity Unit
SKKY	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
TF	: Toplam fosfor
TKM	: Toplam katı madde derişimi
TOB	: Tarım ve Orman Bakanlığı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
US EPA	: United States Environmental Protection Agency
WHO	: World Health Organisation
WQI	: Water Quality Index
YSKY	: Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği

1. GİRİŞ

Tarih boyunca yüzeysel sular, erişimi ve kullanımı en kolay temiz su kaynakları olarak kullanılmışlardır. Suyu olan erişimin kolaylığı ve zorunluluğu nedeni ile dünya tarihine yön veren hemen hemen tüm büyük medeniyetlerin yüzeysel su kaynaklarının yanında ve yakınında kurulduğu bilinmektedir. Toplayıcı avcı insan gruplarının tarım devrimiyle birlikte yerleşik düzene geçmeleri nedeniyle, insanlar günlük ihtiyaçlarının yanı sıra tarımsal üretim amaçlı suya da ihtiyaç duymaya başlamışlardır. Binlerce yıllık bu süreçte su ve kaliteli suya olan erişim medeniyetleri şekillendirmiş ve dünya tarihine yön vermiştir.

Özellikle sanayi devriminden sonra suyun endüstriyel amaçlarla kullanımı ve bu yöndeki önemi anlaşılmış, tarihin pek çok dönemine benzer şekilde siyasal çekişmelerin temeline petrolün yanı sıra “su” da konu olmuştur. Yüzeysel su kaynakları günümüzde içme ve kullanma suyu, tarımsal sulama, endüstriyel üretim, enerji üretimi ve çeşitli üretim sektörlerinde soğutma suyu olarak kullanılmaktadır. Burada özellikle enerji üretimi stratejik bir faktördür. Bunun yanı sıra termik enerji endüstrisinde katı yakıt kullanan santraller ile nükleer santrallerin üretim süreçlerinde “soğutma suyu” ihtiyacı çok önemli boyuttadır. Öyle ki bu durum kurulması planlanan santraller için yer seçiminin en kritik öğelerinden birisidir.

Tarımsal üretim faaliyetleri en büyük su kullanım oranını oluşturmaktadır. Avrupa’da yıllık toplam tüketilen suyun yaklaşık %40’ı tarım sektöründe kullanılmaktadır (Avrupa Çevre Ajansı, 2018). Bu oran Koyuncu (2018) tarafından %70 olarak bildirilmektedir. Dolayısıyla günümüzde tarım sektörünün ihtiyaç duyduğu su miktarının, tüm dünyada içme ve kullanma gibi insani faaliyetler için gereken su miktarının çok üzerinde olduğu anlaşılmaktadır. Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü’nce açıklanan su kaynakları potansiyeli istatistiklerinde, tarımda 32 milyar m³, içme (kullanma) suyu olarak 7 milyar m³, sanayide ise 5 milyar m³ su kullanıldığı belirtilmektedir. Bu durumda, suya olan talebin artması hem endüstrinin hem de yaşayan insan nüfusunun artması ile doğru orantılıdır. Ancak, suda nicelik olarak artan bu talep suyun niteliği ile ters orantılıdır. Yani suya olan ihtiyacın giderek artmasına rağmen suyun ve özellikle de yüzeysel suların kalitesi her geçen gün azalmakta, su kalitesi sınıfları düşmekte ve suyun kullanım amaçları kısıtlanmaktadır.

Günümüzde Türkiye’de kişi başı su kullanım miktarı 1400 m³/yıl iken bu miktarın 2030 yılına kadar 1120 m³/yıl seviyesine gerilemesi beklenmektedir. Su stresi kavramı, kullanılan su kaynaklarından çekilen su miktarının mevcut su kaynaklarının toplamına olan oranı olarak tanımlanmaktadır ve Türkiye’de su stresi diğer OECD ülkeleri ortalamalarına göre yüksektir. İlk sırada tarım sektörü, sulamaya bağlı %70 oranında su kullanımı ile en büyük paya sahiptir (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü, 2019).

Birleşmiş Milletler tarafından yayımlanan istatistiklerde 2015 yılında, dünya nüfusunun %91’inin sağlıklı su kaynağına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda, dünyada yaklaşık 700 milyon kişinin halen içilebilir su kaynağına sahip olmadığı anlaşılmaktadır (Koyuncu, 2018). Giderek artan dünya nüfusunun yakın bir gelecekte, kalitesi gittikçe azalan su kaynaklarına ulaşmakta sorunlar yaşayacağı açıktır.

Falkenmark İndeksi, ülkelerin su varlığını yıllık kişi başına düşen miktara göre sınıflandırmaktadır. Buna göre ülkeler, yıllık bazda kişi başına düşen su miktarı; 1700 m³’ten fazla olması durumunda su sorunu olmayan, 1700-1000 m³ aralığında olması durumunda su sıkıntısı olan, 1000-500 m³ aralığında olması durumunda su kıtlığı olan ve 500 m³’ten az olması durumunda ise mutlak su kıtlığı olan ülkeler olarak sınıflandırılmaktadır (Muluk vd., 2013; Nas, 2018). OECD raporları ve istatistikleri incelendiğinde, Türkiye’nin 2010’lı yılların ortaları itibariyle kişi başına su tüketiminin (1500 m³/yıl) diğer OECD ülkelerinin ortalamalarından daha az olduğu anlaşılmaktadır. Ancak, bu durum Türkiye’nin gelecekte su stresi yaşamayacağı anlamına gelmemekte, artan nüfusla ve gelişmişlik düzeyiyle birlikte su kıtlığı çeken ülkeler grubuna dahil olacağı ön görülmektedir (Koyuncu, 2018).

Mavi Gezegen’imizin dörtte üçü sularla kaplı olup bu suların %97’si okyanuslar ve denizlerde bulunan tuzlu sulardır. Geriye kalan %3 oranındaki tatlı suyun ise %68,3’ü buzullarda donmuş olarak, %31,4’ü yer altı kaynaklarında, kalan %0,3’lük kısmı ise yüzeysel su kaynaklarında bulunmaktadır. Büyük pastanın bu binde üçlük kısmının %87’si göllerde, %11’i bataklıklarda ve %2’lik kısmı ise nehirlerdedir (Türkyılmaz, 2010). Ancak, bu miktarın bilinmesi kabaca bir hesaplama, dünya üzerindeki “pek çoğu erişim dışı olan” suyun miktarını hesaplamakla eş değerdir. Dolayısıyla Türkiye’de bulunan yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarının potansiyellerini belirlemek, su yönetiminin sürdürülebilirliği konusunda atılması gereken en temel adımdır. Türkiye’nin su

potansiyeli istatistiklerinde; yıllık yüzeysel akış 186 milyar m³ olmasına karşın kullanılabilir yüzeysel su miktarının 98 milyar m³ olduğu görülmektedir. Yıllık olarak yaklaşık 14 milyar m³ çekilebilir su miktarı ile toplandığında ise toplam kullanılabilir su miktarının 112 milyar m³ olduğu ortaya çıkmaktadır. Tüm bu kaynaklardan mevcut yararlanma oranı ise %39'dur (Nas, 2018).

Tüm bu veriler göstermektedir ki özellikle su temininde en büyük paya sahip olan yüzeysel su kaynaklarının su kalitelerinin korunması çok önemlidir. Ancak, bu korumacı yaklaşımın hangi kriterlere göre şekillendirilmesi gerektiği hususunda, öncelik belirlemek için doğru ve yeterli izlemelerin yapılarak, su kaynaklarının kalitesi ile ilgili anlaşılabilir çıkarımların ortaya konulması gerekmektedir. Bu hususta Avrupa Birliği'nde su kalitesi alanında, 1,8 milyondan fazla kişinin imzasıyla desteklenen "Su Hakkı" isimli ilk vatandaş girişiminin su konusunda olması dikkat çekicidir (Avrupa Çevre Ajansı, 2018).

Türkiye'de son yıllarda atıksu toplama sistemlerinin (kanalizasyon altyapısı) ve atıksu arıtma tesislerinin sayısı gittikçe artmış ve artmaya devam etmektedir. Buna rağmen, Türkiye bu sistemlere erişim oranı bakımından OECD ülkeleri arasında son sırada yer almaktadır. Evsel nitelikli atıksuların %14'ü ve endüstriyel nitelikli atıksuların ise %38'i herhangi bir arıtıma tabi tutulmadan doğrudan alıcı ortamlara deşarj edilmektedir (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü, 2019).

Herhangi bir amaçla kullanıma sunulacak olan suyun temini aşamasında, yapılması gereken ilk çalışma su ihtiyacının miktarını belirlemek ve kullanılacak uygun kaynağı seçmek olacaktır. Uygun su kaynağı seçimini doğrudan etkileyen üç faktör; suyun kalitesi, birim su maliyeti ve temin edilecek miktarıdır. Yüzeysel su kaynakları, miktar olarak talebi karşılamakla birlikte bu kaynakların her türlü kirlenmeye açık olmaları gerçeği, bu kaynaklardan temin edilecek suların kalitesinin çoğunlukla istenilen düzeyde olmaması sonucunu doğurmaktadır (Şahin, 2018).

Su kalitesinin belirlenmesinde dünyadaki çeşitli resmi ve özel organizasyonlar tarafından oluşturulan, farklı kirletici parametrelerin ve değerlerin tek bir sayıya indirgenerek ifade edilmesi yaklaşımına dayanan Su Kalitesi İndekslerinin kullanılması, karar vericiler, planlayıcılar ve tüketiciler açısından kolay ve 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 hep 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 (Hepsağ, 2003).

Bu çalışmada, Sakarya Nehri'nin "Yukarı Sakarya Bölümü ya da Yukarı Sakarya Havzası" olarak ifade edilen bölümünde, Eskişehir İli'ne bağlı Çifteler İlçesi'nde bulunan nehrin memba kısmı ilk istasyon olarak belirlenmiş, sonrasında nehir havzası içerisinde yer alan en önemli akarsulardan Seydisuyu Deresi, Porsuk Çayı ve Ankara Çayı'ndan gelen baskıları da içerecek şekilde, Sarıyar Baraj Gölü'ne kadar toplamda 12 adet istasyon belirlenmiştir. Tespit edilen istasyonlardan mevsimsel olarak alınan numuneler çeşitli fizikokimyasal, kimyasal ve biyolojik parametreler bakımından analiz edilmiş ve Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeksi (National Sanitation Foundation Water Quality Index – NSF WQI), Kanada Su Kalite İndeksi (Canadian Water Quality Index) ve Oregon Su Kalite İndeksi (Oregon Water Quality Index) kullanılarak su kalite sınıflarının belirlenmesi ve kirlilik kaynaklarına göre Yukarı Sakarya Havza'sının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. SU KALİTESİ

Gezegendeki ilk canlıların ortaya çıkışından günümüze kadar yaşamın temeli ve sürekliliği suyun varlığına bağlı olarak devam etmektedir. Dünya ekosistemi, tüm yaşamı destekleyen ve su döngüsü içerisinde en fazla denizler ve okyanuslarda sıvı halde depolanan büyük miktarda suya sahiptir. Buharlaşıma yolu ile atmosfere yükselen su, yağışlarla tekrar kara parçalarına dönerek yüzeysel akışları oluşturmakta, yüzeysel akışlar ve topraktan süzülen sular ise nihai olarak denizlere ve okyanuslara dönmektedir (Odum & Barret, 2008).

Günümüzde, su döngüsü büyük bir kısmı antropojenik, çok az kısmı ise doğal etki olmak üzere değişikliğe ve kesintiye uğramaktadır. Arazi kullanım şekillerinin değiştirilmesi amacı ile bataklık ve sulak alanların kurutulması, rekreasyon ve tarımsal sulama için akarsulardan aşırı su çekilmesi, suyun başta barajlar olmak üzere diğer çeşitli rezervuar ve kanallarda tutularak depolanması, yer altı sularının aşırı tüketilmesi ve plansız şehirleşme gibi sebeplerle yer kürede su döngüsü gittikçe bozulmaktadır. Bu değişikliklere bağlı olarak ortaya çıkan iklim değişikliği etkileri ve afetlerle de sorunun etki alanı giderek büyümektedir (Gautier, 2014).

Gezegelimizdeki suyun yaklaşık %97,5 oranındaki miktarı tuzlu su olarak okyanus ve denizlerde, %2,5'luk kısmı ise tatlı olarak bulunmaktadır. Ancak bu tatlı su oranının çok büyük bir kısmı (%68,3) buzullarda depolanmış olarak ve kullanım dışındadır. Geriye kalan miktarın ise %31,4'ü yeraltı suyu, %0,3'ü ise yüzey suyu olarak mevcuttur.

Ekosferde bulunan toplam su miktarına bakıldığında, doğrudan erişime açık olan tatlı su kaynaklarının çok az olduğu görülmektedir. Yüzeysel su kaynaklarının bu oranda az olmasına rağmen, suyun “bir alıcı ortam” olarak addedilip giderek kirletilmesi oldukça düşündürücü ve önlem alınması gereken öncelikli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır (Atalık, 2007).

Tatlı suya olan erişilebilirlik başta gıda üretimi olmak üzere pek çok sanayi için sınırlayıcı bir etkidir. Halen potansiyel su kullanımı dünya nüfusunun %76'sı için kişi başına yılda 5000 m³'ten azdır. Bunun yanı sıra dünya nüfusunun %35'i ise çok düşük ve kritik derecede düşük miktarda su kaynağına sahiptir (Gautier, 2014).

Türkiye’de su kaynaklarının kalitelerinin bozulmasının en önemli nedenleri arasında; doğal kaynakların aşırı kullanımı, plansız ve hızlı sanayileşme ile çarpık kentleşme sonucu su kaynaklarına ulaşan arıtılmamış evsel ve endüstriyel atıksular, mevcut atıksu arıtma tesislerinin kapasite ve proses bakımından yetersiz olması, iletimin etkin yapılamaması ve tarımsal faaliyetler yer almaktadır. Kaynaklar kirlendikten sonra alınacak önlemler (boru sonu tedbirleri) daha zor ve pahalı olmaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2021).

Su kalitesi kavramı, suyun tüm özelliklerinin (fiziksel, kimyasal ve biyolojik) ortaya konulması için geliştirilmiştir. Kalite üzerine yapılacak çalışmaların türüne veya istenen kullanım amaçlarına göre suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ya da aynı anda fiziksel-biyolojik, fiziksel-kimyasal özellikleri önem arz etmektedir ve buradan hareketle “Su Kalitesi Sınıfı” kavramı ortaya çıkmıştır. Su kalitesi sınıfı, bir su kaynağının çeşitli amaçlar için belirlenmiş bazı kirletici ve kalite göstergesi parametreler seti içerisinde, limit değer aralıklarında sahip olduğu kalitenin isimlendirilmesidir. Bu kalite sınıflarının çoğaltılması, dikkate alınacak parametre setlerindeki limit aralıklarının küçültülmesi ile mümkün olabilmektedir.

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği’nde su kirliliği kavramı, *“bir su kaynağının kimyasal, fiziksel, bakteriyolojik, radyoaktif ve ekolojik özelliklerinin olumsuz şekilde değişmesi; doğrudan ya da dolaylı olarak biyolojik kaynakları, insan sağlığını, balıkçılık faaliyetlerini, suyun kalitesini ve çeşitli başka amaçlarla kullanılmasını engelleyen/bozan madde veya atıkların boşaltılması”* olarak tanımlanmaktadır. Bu kirleticiler, yaygın ve/veya noktasal kirletici kaynaklar olarak iki grup halinde incelenirler.

Noktasal kaynaklar, kirliliğin alıcı ortama (suya) nereden verildiğinin bilindiği kaynaklardır. Kentsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinin deşarj noktaları noktasal kaynaklardır. Konumlarının ve oluşturdukları baskının bilinmesi nedeni ile kolaylıkla kontrol altına alınabilirler.

Diğer yandan, yaygın kaynaklar ise alıcı ortama (su) kirleticinin tam olarak nereden verildiğinin bilinemediği kaynaklardır. Dolayısıyla kirliliğin kontrol altına alınması daha zor ve maliyetlidir. Tarım arazilerinden yüzeysel akışlarla suya karışan ve kirleticileri barındıran sızıntı ve yağmur suları yaygın kaynaklardır (Hepsağ, 2003).

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde alıcı ortam kavramı, *“atıksuların deşarj edildiği veya dolaylı olarak karıştığı göl, akarsu, kıyı ve deniz suları ile yeraltı suları gibi yakın veya uzak çevre”* olarak tanımlanmaktadır. Burada dikkati çeken husus, su temini konusunda en önemli ve en kolay ortamlar olan yüzeysel suların yine atıksu deşarjı için birincil alıcı ortamlar olarak belirlenmesidir (Sümer vd., 2001).

Bir akarsudan, sınırlarına girdiği yerleşim biriminde memba yönünde su çekilerek tüketim amacıyla şebekeye verilmekte, oluşan atıksuları ise toplanarak arıtılıp (bazen de arıtılmadan) yine aynı akarsuya mansap yönünde deşarj edilmektedir. Dolayısıyla suyun kalite sınıfının azaldığı sonucu ortaya çıkmaktadır.

Artan su ihtiyacına paralel olarak, su kaynaklarının korunabilmesi amacı ile öncelikli olarak su kalitesinin belirlenmesi yönünde çeşitli kamu kurumlarının ve yerel yönetimlerin çalışmaları mevcuttur. Kirlenmeye başlayan bir yüzeysel su kaynağı, faydalanılacak su miktarının azalması anlamına gelmektedir (Üstüner, 2012). Ayrıca su kirliliği, beraberinde çevre kirliliğini de (su dışındaki ortamlara) getirmektedir. Suda ortaya çıkabilecek bir kirlenme, suyun tüketilmesi, su canlılarının tüketilmesi ve benzeri yollarla insan sağlığını doğrudan etkilemektedir. Bu kaynaklardan alınan suların tarımsal sulama amacı ile kullanılması sonucunda da kirleticiler bitkiye ve toprağa geçmektedir ve bu döngü ise dolaylı olarak insan sağlığını etkilemektedir. Kirleticinin noktasal kaynaklı olması, arıtımını ve izlenmesini kolaylaştırır. Yapılan iyileştirme çalışmalarının sonuçlarını izleyebilmek ve yüzeysel su kalitesinde doğal ya da antropojenik olarak ortaya çıkan bozulmaların, dalgalanmaların izlenebilmesi amacıyla su kalitesi gözlem çalışmaları başlatılmıştır (Üstüner, 2012).

Yüzeysel bir su kaynağındaki kirleticiler varlığının ayırt edilebilmesi için su kaynağının kalitesinin bilinmesi oldukça önemlidir. Bu noktada su kalitesi sınıfları ortaya çıkmakta ve su kalitesi sınıflarının belirlenmesi ise çeşitli su kalitesi kriterleri (parametreler) ile yapılmaktadır. Suyun kalitesinde bozulmaya yol açabilecek kadar güçlü olan bileşenler ve özellikleri içeren parametreler bilimsel veri ve gözlemler sonucunda elde edilmektedir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde su kalitesi kriterleri, herhangi bir kullanım amacı gözetmeden tüm su kaynaklarının dengeli ve sağlıklı ortamlar olarak korunması esasına göre, planlanan kullanım sınıflarına uygunluk açısından su kaynaklarından beklenen fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler olarak verilmektedir.

Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından mevzuata uyumlu ekosistem esaslı su kalitesi değerlendirme sistemi kurulumu çalışmaları yürütülmektedir. Bu kapsamda çeşitli havzalarda referans noktalar belirlenerek bu noktaların biyolojik, kimyasal ve hidromorfolojik durumları tespit edilmiştir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2021).

Kalite kriterlerine göre sınıflandırma, suyun yararlı ya da tercih edilen kullanım amacına göre sağlaması gereken standart değerler kullanılarak yapılmaktadır. 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. Standartlar, izlenen su kütlesinde bir bozulma saptandığında bunun nedeni ve kaynağını tespit etmeyi kolaylaştırırken, noktasal kirletici kaynakların (arıtma tesisleri, sanayi tesisler vb.) kontrol edilmelerini de sağlamaktadır (Chapman, 1992).

Türkiye’de, 30.11.2012 tarihli ve 28483 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY) kapsamında kıta içi yerüstü su kaynaklarının genel kimyasal ve fizikokimyasal parametreler açısından sınıflarına göre kalite kriterleri dört sınıf altında yapılmaktadır.

- I. Sınıf (Çok iyi): Yüksek kaliteli sulardır. Bu kalitedeki sular; içme suyu olarak kullanılabilir. Vücut teması (yüzme) gerektirenler dahil olmak üzere rekreasyon, alabalık üretimi, hayvan üretimi ve çiftlik ihtiyaçları amaçlarıyla kullanılabilir.
- II. Sınıf (İyi): Az kirlenmiş sulardır. İçme suyu olma potansiyelleri vardır. Rekreasyonel amaçlarla, alabalık dışında balık üretimi için ve yürürlükte olan mevzuat çerçevesinde tespit edilmiş olan sulama suyu kalite kriterlerini sağlamak şartıyla sulama suyu olarak kullanılabilirler.
- III. Sınıf (Orta): Kirlenmiş sulardır. Gıda, tekstil gibi nitelikli su gerektiren tesisler hariç olmak üzere sanayide ve uygun bir arıtmadan sonra su ürünleri yetiştiriciliği için kullanılabilirler.
- IV. Sınıf (Zayıf): Çok kirlenmiş sulardır. III. sınıf için verilen kalite parametrelerinden daha düşük kalitededirler ve bir üst kalite sınıfına ancak arıtılarak ulaşabilirler.

Yüzeysel su kaynaklarının korunabilmesi ancak bu kaynakların izlenmesine ve izleme sonucunda elde edilecek verilerin en doğru şekilde yorumlanarak gerçek su kalitesinin belirlenmesiyle mümkün olabilmektedir. Su kaynağının kalitesi ve mevcut durumu gerçeğe en yakın şekilde belirlenirse, bu kaynakların korunmasına yönelik yapılacak çalışmaların da en doğru şekilde planlanması ve bu çalışmalara yeterli maddi kaynak ayrılması sağlanabilir.

2.1. Su Kalitesi İndeksleri

Su kalitesi sınıfı kavramı, toplam su kalitesinin her bir parametre için ayrı ayrı değerlendirilmesi, çoklu parametre ölçümleri, sınıf belirleme aşamasında daha az önemli parametreler ile kilit parametrelerin eşit ağırlığa sahip olması gibi dezavantajları nedeniyle su kaynakları hakkında yorum yapmayı güçleştirmektedir. İşte bu noktada Su Kalitesi İndeksi (Water Quality Index – WQI) kavramı geliştirilmiştir. Su Kalitesi İndeksi, hızlı ve basit bir yöntemle elde edilmiş tek bir değere ve ona karşılık gelen ölçeğe bakılarak su kalitesinin tanımlanmasını sağlar (Tunç Dede & Sezer, 2017).

Su kalitesi indeksleri, 1960’lı yıllardan bugüne, akarsuların kalite durumlarını belirlemek için kullanılmaktadır. Su kalite indeksi, seçilmiş su kalitesi parametrelerini birimsiz tek bir sayıya indirgeyerek belirli bir lokasyonda ve/veya zamandaki su kalitesini kolaylıkla ortaya koyabilir. Dünya’da pek çok su kalitesi indeksi geliştirilmesine rağmen, tüm dünyaca kabul görmüş bir kalite indeksi geliştirme metodu yoktur. Bu da indeks geliştiricilerini bazen belirli bir bölge için, bazen de evrensel indeksler geliştirme yolunda teşvik etmektedir (Sutadian vd., 2016).

Su kalitesi indeksleri, hesaplama yöntemlerine göre beş farklı grupta incelenirler (Bilgin, 2018; Asadollahfardi, 2015):

- Genel su kalitesi indeksleri: Su ortamının kalitesini belirlemek amacıyla kullanılırlar.
- Spesifik su kalitesi indeksleri: Özellikle içme, sulama ve endüstriyel su temini ile sucul yaşamın korunması gibi özel amaçlar doğrultusunda su kalitesini tanımlamak için kullanılırlar.

- Dizayn indeksleri: Su yönetiminde karar verme sürecinde kullanılırlar. Su kalitesinin sınıflandırılmasından daha çok kararların etkilerini değerlendirmek ve gelecekte alınacak önlemleri belirlemek amacıyla kullanılırlar.
- İstatistiksel indeksler: Su kalitesi sınıflandırmasında kullanılan en objektif yöntemlerdir. İstatistik modelleri kullandıkları için bireysel değerlendirmeler vardır.
- Biyolojik indeksler: Suyun mevcut kalitesinin sucul yaşama olan etkilerinin belirlenmesi için kullanılırlar.

Sutadian vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, Dünya’da kullanılan 30 farklı su kalitesi indeksi incelenmiş ve bir su kalitesi indeksinin oluşturulmasının genellikle dört adımda olduğu belirlenmiştir: parametre seçimi, alt-indislerin oluşturulması, parametrelerin ağırlıklarının belirlenmesi ve nihai indeks skoru için birleştirme işleminin (aritmetik ya da geometrik ortalama vb.) yapılması.

Gerçek anlamıyla ilk kalite indeksi 1965 yılında bir nehrin su kalitesi durumunu ortaya koymak için (Horton, 1965) tarafından geliştirilmiştir. Bu indeksi geliştirirken çeşitli kriterler belirlenmiştir: Söz konusu indekse dahil edilecek değişkenlerin sayısı sınırlı olmalıdır, bu değişkenler (parametreler) çoğu alanda anlamlı ve önemli olmalıdır ve güvenilir verilerin mevcut olduğu ya da elde edilebileceği parametreler dahil edilmelidir (Bilgin A. , 2018). Bu doğrultuda Horton (1965), geliştirdiği indeks için çözünmüş oksijen, pH, koliformlar, iletkenlik, alkalinite ve klorür gibi parametreleri seçmiştir. O dönemden beri de özellikle kullanım kolaylığı ve bilimsel temelli oluşu nedeniyle tüm Dünya’da kabul görmüştür. Su kalitesi indeksleri, bir su kitlesi hakkındaki çok miktardaki kalite verisini, gerçeğe en yakın kalite değerini temsil eden tek bir sayıya dönüştürür ve tüm bu değerlendirme aşaması netleştirir. Bir defada çok fazla sayıda bilgi içeren parametre veri setleri yerine tek bir puan üzerinden değerlendirme yapılmasını kolaylaştırır (Taner, 2007).

Su kalitesi indekslerinin hesaplanmasında çeşitli kirletici parametrelere ait ölçüm/analiz sonuçları kullanılmaktadır. Bazı indeksler belirlenmiş özel parametre setlerini kullanırken (Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeksi ve Oregon Su Kalitesi İndeksi), bazı indeksler ise böyle bir parametre seti kısıtlamasına gitmemiştir (Kanada Su Kalite İndeksi).

Parametre seçimine göre indeksler üç gruba ayrılmaktadır: (Sutadian vd., 2016)

1. Sabit seçimli sistemler: İndeksin hesaplanmasında yalnızca belirlenmiş parametreler kullanılabilir. Bu indekslerle üretilen sonuçlar, Dünya'nın başka alanlarında aynı indeksle hesaplanan skorlarla rahatlıkla karşılaştırılabilir. Ancak, yalnızca belirli parametrelerle çalışmaları yüzünden, izleme süreçlerinde parametre uyumsuzluğu sebebiyle kullanımları kısıtlanabilir.
2. Açık seçimli sistemler: Bu indekslerin hesaplanmasında asgari bir sınır olmak kaydıyla istenilen parametreyle çalışılabilir. İzleme verisinin kısıtlı olduğu durumlarda çok işlevsel indekslerdir. Ancak indeks değerleri yalnızca kabul edilen hedef değerler (limitler) üzerinden geçerli olacağından evrensel olarak geçerliliği tartışmalıdır.
3. Karışık seçimli sistemler: İndeksin ilk hesaplanmasında belirli sayıda parametreyi baz alan, ancak final skoruna yeniden bir ya da birkaç parametrenin eklenmesi sonucunda hesaplanan indekslerdir. Bazı durumlarda final skorunun belirli bir seviyenin altında ya da üstünde olması durumunda ilave parametreler eklenebilir.

Dünya'da çeşitli kuruluşlar ve organizasyonlar tarafından geliştirilen Su Kalitesi İndeksleri bulunmaktadır. En çok kullanılan indeksler Amerika'da National Sanitation Foundation tarafından desteklenerek Brown vd. (1970) tarafından geliştirilen Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeksi (National Sanitation Foundation Water Quality Index – NSFQI), Kanada Çevre Bakanları Konseyi (Canadian Council of Ministers of the Environment) tarafından geliştirilen Kanada Su Kalitesi İndeksi (Canada Water Quality Index – CWQI) ve Oregon Su Kalitesi İndeksi (Oregon Water Quality Index – OWQI) olarak sıralanabilir (Bilgin, 2018; Abbasi ve Abbasi, 2012). Sayılan bu indeksler hakkında detaylı bilgiler Bölüm 2.3.de verilmektedir.

Sucul Zehirlilik İndeksi (Aquatic Toxicity Index – ATI), Wepener vd. (1992) tarafından geliştirilmiştir. Bu indeks, kalite parametrelerinin sucul yaşama (özellikle de balıklara) olan zehirlilik etkilerini belirler. Bu indeksin hesaplanmasında kullanılan su kalitesi parametreleri pH, çözünmüş oksijen, bulanıklık, amonyum, toplam çözünmüş tuzlar, flüorür, potasyum, orto-fosfatlar, toplam çinko, mangan, krom, bakır, kurşun ve

nikeldir (Tunç Dede, Telci, & Aral, 2013). Bu indekse ait kategoriler Çizelge 2.1.de verilmektedir.

Çizelge 2.1. *Sucul Zehirlilik İndeksi için kategoriler (Tunç Dede, Telci ve Aral, 2013; Wepener vd., 1992)*

ATI	Kalite Durumu
0-50	Balık yaşamı için uygun değil
51-59	Yalnızca dayanıklı balık türleri için uygun
60-100	Her türlü balık yaşamı için uygun

Toplam Kirlilik İndeksi (Overall Index of Pollution – OIP) Sargaonkar ve Deshpande (2003) tarafından farklı birimlere sahip çeşitli su kalitesi değişkenlerini bir araya getirmek için tasarlanmıştır. Entegre edilmiş bu indeks sayesinde su kalitesini izleyen kurumlar ile karar vericilere yardımcı olunması amaçlanmıştır (Tunç Dede, Telci, & Aral, 2013). İndeksin hesaplanmasında kullanılan parametreler pH, bulanıklık, çözünmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, sertlik, toplam çözünmüş katı, toplam koliform, arsenik ve flüorürdür. İndeksin puantajı 1-16 arasında olup Çizelge 2.2.de yer almaktadır.

Çizelge 2.2. *Toplam Kirlilik İndeksi için kategoriler (Tunç Dede, Telci, & Aral, 2013)*

OIP	Kalite Sınıfı
0-1	Mükemmel
1-2	Kabul edilebilir
2-4	Az kirli
4-8	Kirli
8-16	Çok kirli

Boyacıoğlu (2007) tarafından, Evrensel Su Kalitesi İndeksi (Universal Water Quality Index – UWQI) olarak adlandırılan bir indeks oluşturularak yüzeysel suların içme suyu temini amacıyla kullanıma uygunluğunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Boyacıoğlu (2007) tarafından, Dünya’da kullanılan indekslerin çoğunun rekreasyonel kullanımlar için akarsu kalitesinin belirlenebilmesi amacıyla geliştirildiği ve bu indekslerin geliştirildikleri ülkenin ulusal standartlarına göre oluşturulduğu, bu durumun da kullanımlarında kısıtlamalara yol açtığı ifade edilmiştir.

Bu kapsamda yazar UWQI’yi geliştirirken Avrupa Birliği Bakanlar Konseyi’nce yayımlanan 75/440/EEC İçme Suyu Temin Edilen Yüzeysel Suların Sağlaması Gereken Kalite Standartları ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’nde verilen kalite sınıflarını ve limit değerleri baz almıştır. (75/440/EEC, çalışmanın yayımlandığı yılın sonunda 21.12.2007’de yürürlükten kalkmıştır.) 75/440/EEC’de, yüzeysel su kalitesi sınıfları 3

kategoride (I, II ve III. Sınıf) verilmektedir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde ise bu üç kategoriye ilave olarak IV. Sınıf su kalitesi kategorisi de eklemiştir.

Sayılan mevzuatlar kapsamında yazar, 45 farklı su kalitesi parametresi içerisinde 12 tanesini (toplam koliform, Cd, siyanür (CN-), Hg, Se, As, F, nitrat azotu, çözünmüş oksijen, pH, biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve toplam fosfor) seçerek bu parametreler için alt-indis fonksiyonları oluşturmuştur. Bu indeksin sınıflandırılması Çizelge 2.3'te yer almaktadır.

Çizelge 2.3. *Evrensel Su Kalitesi İndeksi için kategoriler (Boyacıoğlu, 2007)*

UWQI	Kalite Sınıfı
95-100	Mükemmel
75-94	İyi
50-74	Orta
25-49	Düşük
0-24	Zayıf

Ağırlıklı Aritmetik Su Kalitesi İndeksi (Weighted Aritmethic Water Quality Index – WAWQI), su kalitesini yaygın olarak ölçülen su kalitesi parametreleri kullanarak saflık seviyesine göre gruplandırır. Bu sayede çok sayıda kalite parametresi, bir denklemde buluşturulup ifade edilir. Kullanım sınıflarının belirlenmesi için tüm kalite parametrelerine kıyasla da az sayıda parametreye ihtiyaç duyar. Özellikle kamuya ve kanun yapıcı kurum/kuruluşlara daha kolay ve anlaşılır bilgi sunar (Kumar ve Pandey, 2016; Shah ve Joshi, 2017). İndeksin sınıflandırılması Çizelge 2.4.te yer almaktadır.

Çizelge 2.4 *Ağırlıklı Aritmetik Su Kalitesi İndeksi (Bilgin A. , 2018)*

WAWQI	Kalite Sınıfı
0-25	Çok İyi
26-50	İyi
51-75	Orta
76-100	Kötü
>100	Çok Kötü

Ustaoglu, Tepe ve Taş (2020) tarafından Ordu ili sınırlarında bulunan Turnasuyu Deresi'nde bir yıllık dönemde (dört mevsimde) izleme çalışması yapılmıştır. Çalışma kapsamında genel su kalitesi parametreleri (sıcaklık, pH, iletkenlik, toplam çözünmüş katılar, askıda katı madde, bulanıklık, tuzluluk, oksidasyon redüksiyon potansiyeli, alkalinite, toplam sertlik), sudaki oksijen varlığına ilişkin parametreler (çözünmüş oksijen, oksijen doygunluğu, biyokimyasal oksijen ihtiyacı), besin parametreleri (amonyum azotu, nitrit, nitrat, toplam fosfat, toplam fosfor), iz elementler, inorganik

kirletici parametreler ve klorofil-a izlenmiştir. Bu parametreler kullanılarak 1970 yılında Birleşik Devletler Ulusal Sanitasyon Kuruluşu tarafından geliştirilen WQI (Water Quality Index) kullanılmıştır. Bu indeks, Brown vd. (1970) tarafından geliştirilen NSF-WQI ile karıştırılmamalıdır. WQI, özellikle su kaynaklarının içilebilme potansiyellerinin ve evsel amaçlarla kullanım uygunluklarının sınıflandırılması amacıyla kullanılır. Bu indeksin hesaplanmasında 14 farklı parametre ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, Cl^- , TH, TDS, EC, pH, SO_4 , Cu, Al, Fe, Mn, Zn) kullanılmaktadır. Bu indeks, diğerlerinden farklı olarak 1-100 arasında sınırlandırılmamış olup 0-25 aralığı mükemmel, 26-50 aralığı iyi, 51-75 aralığı zayıf, 76-100 aralığı çok zayıf ve 100'den büyük değerler ise kullanıma uygun değil olarak sınıflandırılmıştır.

Araştırmacıların ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimi boyunca elde ettikleri kalite puanları sırasıyla 21,30, 17,04, 20,57, ve 16,94 olarak verilmiştir. Ayrıca yıllık ortalama ise 18,97'dir. İndeks skalasında tüm değerler 0-25 aralığında yer aldığından Turnasuyu Deresi'nin su kalitesinin mükemmel sınıfta olduğu sonucuna varılmıştır.

Kükre ve Mutlu (2019) tarafından Saraydüzü Baraj Gölü'nde yapılan çalışmada, bir yıllık süre boyunca aylık olarak yapılan izleme sonucunda 28 parametreye ilişkin analizler gerçekleştirilmiştir. WQI metodu kullanarak su kalitesi indeksi değerleri belirlenmiştir. Bu amaçla Cd, Cl, Cu, Pb, Hg, Ni, nitrat, nitrit, Na, toplam sertlik, pH, sülfat ve Zn parametreleri indeks hesaplamasına dahil edilmiştir. Bu hesaplamalar sonucunda yazarlar söz konusu çalışma alanında 17,62 ile 29,88 puan aralığında su kalitesi indeksi skorları elde etmişlerdir ve çalışma alanının çok iyi kalitede olduğunu bildirmişlerdir.

Bu çalışmada yazarlar, WQI kapsamında parametrelerin ağırlıklarını belirlerken Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenen sınır değerleri göz önüne almışlardır. Bunun yanı sıra Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde verilen dört su kalite sınıfı için eldeki parametrelerin hangi sınıfta değerlendirildiğini yorumlamışlardır. Çözünmüş oksijen, kimyasal oksijen ihtiyacı, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, nitrat azotu, amonyum gibi parametrelerin çok iyi (1. Sınıf) su kalitesinde, fosfat değerinin ise iyi (2. Sınıf) su kalitesinde olduğu belirtilmiştir.

Sutadian vd. (2018) tarafından Endonezya'da Batı Java Eyaleti'nde yapılan çalışmayla Batı Java Su Kalitesi İndeksi (The West Java Water Quality Index – WJWQI)

geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla 2001-2011 yıllarında derlenen veriler kullanılmıştır. Araştırmacılar bu indeksi 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. Yapılan değerlendirme sonucunda sırasıyla fekal koliform (0,179), kimyasal oksijen ihtiyacı (0,100) ve çözünmüş oksijen (0,100) en yüksek ağırlığa sahip parametreler olarak seçilmiştir. En düşük ağırlığa sahip parametreler ise sıcaklık (0,034) ve çinko (0,038) olarak belirlenmiştir.

Şener, Şener ve Davraz (2017) tarafından Aksu Nehri'nde yapılan çalışmada, Karacaören-1 Baraj Gölü'ne ulaşan akarsuda WQI 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, Dünya Sağlık Örgütü ve TS 266 İçme Suyu Standardı'yla da karşılaştırılmıştır. 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 etkili parametrelerin ise kimyasal oksijen ihtiyacı ile Mg parametreleri olduğu bildirilmiştir.

Said, Stevens ve Sehlike (2004) tarafından Idaho'da bulunan Big Lost Nehri su ayırım hattı üzerinde yapılan çalışmada temel parametreler olarak ifade edilen çözünmüş oksijen yüzdesi, iletkenlik, bulanıklık, toplam fosfor ve fekal koliform parametreleri kullanılarak yeni bir su kalitesi indeksi geliştirilmeye çalışılmıştır. Yazarlar pH, sıcaklık ve azot bileşikleri gibi parametrelerin de su kalitesi üzerinde etkili olduğunu ancak bu parametrelerin etkilerinin diğer temel parametrelere göre daha tahmin edilebilir ve belli olduğunu vurgulamışlardır. Örneğin çözünmüş oksijen yüzdesi parametresinin seçilmesiyle sıcaklık etkisinin de gösterildiği ifade edilmiştir.

Yapılan çalışmada yeni su kalitesi indeksinin geliştirilmesi iki aşamalı olarak yapılmıştır. İlk aşamada belirlenen parametreler önem derecelerine göre çözünmüş oksijen yüzdesi, toplam fosfor, fekal koliform, bulanıklık ve iletkenlik olacak şekilde sıralanmıştır. İkinci olarak ise indeks hesabı formülize edilerek makul bir sayı aralığına

indirgenmiştir. Bu amaçla logaritmik yaklaşım kullanılmıştır. Bu indeks, pek çok emsalinden farklı olarak 0 ile 3 aralığında puanlanmıştır. En ideal olan 3 puanlık senaryoda, çözünmüş oksijen yüzdesinin %100, toplam fosfor ve fekal koliformun 0 olduğu, bulanıklığın 1 NTU'dan az ve iletkenliğin ise 5 MS/cm'den az olduğu kabul edilmiştir.

Bhutiani vd. (2013) tarafından Hindistan'ın ünlü Ganj Nehri üzerinde yapılan çalışmada on bir yıllık izleme çalışması sonucunda oluşturulan 16 adet fiziko-kimyasal parametre setine ait veriler kullanılarak Ved Prakash'ın Ganj Nehri İndeksi, Ağırlıklı Aritmetik İndeks (Weighted Arithmetic Index - WAI) ve NSF-WQI hesaplanmıştır. Bu sayede nehir suyunun içme, sulama ve diğer insani kullanım amaçlarına uygunluğu araştırılmıştır.

Çalışmada kullanılan Ved Prakash İndeksi (VPİ), NSF-WQI'den uyarlanmış olup aynı hesaplama yöntemini kullanmaktadır. Alt-indislerin bazıları ve sınıflandırma aralıkları Hindistan Merkezi Kirlilik Kontrol Heyeti tarafından uyarlanmıştır. On bir yıllık bir izleme sonucunda elde edilen su kalitesi puanlarında çok az değişiklikler olduğu, kalite puanlarının birbirlerine yakın olduğu ortaya konulmuştur. Bu kapsamda; VPİ ve NSF-WQI değerlerinin sırasıyla $51,85 \pm 1$ ve $74,45 \pm 3$ aralığında değiştiği ortaya konulmuştur. WAI değerinin ise $64,83 \pm 8$ aralığında değiştiği belirlenmiştir. Çalışmada en yüksek su kalitesi puanları NSF-WQI ile elde edilmiştir.

Nalado vd. (2017) tarafından Malezya'da bulunan Terengganu Nehri'nde yapılan çalışmada, yağışlı ve kurak mevsimde nehir hazasında bulunan yirmi dokuz farklı istasyondan numuneler alınarak Malezya Çevre Birimi Su Kalitesi İndeksi (Department Of Environment Water Quality Index – DOE-WQI) adı verilen bir indeks kullanılarak su kalitesi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu indeksin hesaplanması için kullanılan parametreler çözünmüş oksijen, kimyasal oksijen ihtiyacı, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, amonyak azotu, pH ve askıda katı madde derişimidir. Söz konusu indeks için özel olarak geliştirilen alt-indislerden her parametre için belirli koşullara göre değerler okunmaktadır.

Sahoo ve Patra (2018) tarafından Hindistan'da bulunan Brahmani Nehri Havzası'nda yapılan çalışmada, 2002 ile 2016 yılları arasında dokuz farklı istasyondan üç farklı mevsimde (muson öncesi, muson ve muson sonrası) alınan çeşitli parametrelerin ölçüm sonuçlarına bağlı olarak Fonksiyonel Su Kalitesi İndeksi (Functional Water

Quality Index – FWQI) belirlenmeye çalışılmıştır. Bu indekste, Avrupa Birliği Bakanlar Konseyi’nce yayımlanan 75/440/EEC İçme Suyu Temin Edilen Yüzeysel Suların Sağlaması Gereken Kalite Standartları’nda limit değerleri verilen 16 parametre kullanılmıştır. Seçilen parametrelerin sucul yaşama olan toksik etkileri bakımından sınıflandırılması yapılmış olup zehirlilik etkisi en büyük parametreler sırasıyla toplam krom, kadmiyum, flüorit ve kurşun olarak verilmiştir. Çalışmanın sonucunda, üç mevsimde de özellikle toplam krom parametresinin azaltılmasıyla su kalitesinin arttırılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Çalışılan parametrelerden sodyum, potasyum, kurşun ve nikelin su kalitesi üzerinde pozitif yönde etkili olduğu; klorür, kadmiyum, bor, sülfat, fosfat, flüorit, bakır, çinko, nitrat, nitrit ve amonyağın ise negatif yönde etkili olduğu ortaya konulmuştur. Literatürdeki benzerlerinden farklı olarak FWQI’de kalite sınıfları altı başlık altında ve her başlık için belirlenen bir renkle ifade edilmektedir.

Titiz (2020) tarafından Edirne’de yapılan çalışmada, toplam 45 istasyondan içme suyu ve yeraltı suyu örnekleri alınarak kış ve yaz mevsimlerinde çeşitli parametreler (sıcaklık, çözünmüş oksijen, yüzde oksijen doygunluğu, pH, iletkenlik, toplam çözünmüş katı, askıda katı madde, tuzluluk, bulanıklık, nitrat azotu, nitrit azotu, fosfat ve fosfor pentaoksi) 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.

Taner (2007) tarafından İstanbul’da Küçükçekmece Havzası’nda yapılan çalışmada, havza genelinde bulunan 14 istasyonda beş yıl boyunca elde edilen veriler kullanılarak bir su kalitesi indeksi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Böylece havza genelindeki organik kirlilik, ötrofikasyon durumu ve sucul canlılar üzerindeki kirlilik baskısı saptanmaya çalışılmıştır. Yazar tarafından çözünmüş oksijen, toplam azot/toplam fosfor oranı, nitrat, ortofosfat, klorofil-a, kimyasal oksijen ihtiyacı, bulanıklık, iletkenlik ve pH parametreleri kullanılmıştır. Tüm parametreler normalize edilerek durumu için sınıflandırılmıştır. Havza genelinde kimyasal oksijen ihtiyacı değerinin düşük olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, havzada bulunan su kütlelerinde gözlemlenen alg patlaması

dönemlerinde indeks puanlarının önemli derece düştüğü ve su kalitesinin “kritik” ve “çok kötü” sınıflar düzeyine gerilediği bildirilmiştir. Çalışmada parametreler için seçilen ağırlık faktörleri çözünmüş oksijen 0,25, trofik durum 0,24, kimyasal oksijen ihtiyacı 0,23, pH 0,10, iletkenlik 0,09 ve bulanıklık 0,09 şeklindedir. Bu noktada yazar ötrofik durum parametresini hesaplamak için öncelikle ortofosfat, nitrat ve klorofil-a parametrelerini normalize edilmiş skorlarını hesaplamaktadır. Eğer toplam azot/toplam fosfor oranı 10’dan küçükse nitrat, 10’a eşit ve büyükse ortofosfat parametresi sınırlayıcı parametre olarak belirlenmektedir. Daha sonra sınırlayıcı parametre, klorofil-a değeriyle karşılaştırılarak daha küçük olan değer trofik durum parametresi olarak seçilmektedir.

Kaçan (2020) tarafından Fethiye Körfezi’nin iç kıyı sularında yapılan çalışmada 14 farklı istasyondan 12 ay boyunca su numuneleri alınarak su kalitesi indeksi değerleri belirlenmiştir. Çalışmada izlenen parametreler fekal koliform, toplam askıda katı madde, nitrat, bulanıklık, pH, sıcaklık farkı, çözünmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve toplam fosfattır. Yazar çalışmada üç farklı su kalitesi indeksinden (Ağırlıklı ortalama su kalitesi indeksi, ağırlıksız ortalama su kalitesi indeksi ve ağırlıksız harmonik kare ortalama su kalitesi indeksi) yararlanmıştır. Bu indeksler belirli parametreler seçilip yeniden hesaplanarak parametrelerin etki düzeyleri ve elde edilen skor değerleri karşılaştırılmıştır. MATLAB yazılı kullanılan gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda kalite değerleri bakımından en kötü parametrelerin fekal koliform ve biyolojik oksijen ihtiyacı parametreleri olduğu belirlenmiştir. Ağırlıklı Ortalama Su Kalitesi İndeksi değerinin 9 parametreye bağlı olarak hesaplanması sonucunda ortaya çıkan sonuçlar ile aynı indeksin yalnızca üç parametre (fekal koliform, sıcaklık farkı, çözünmüş oksijen) kullanılarak elde edilen sonucu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu ve istenildiği takdirde daha az parametre kullanılarak da kalite değerinin hesaplanabileceği ifade edilmiştir.

2.2. Parametreler

Çalışmada kullanılacak olan indeksler; Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeksi (NSF-WQI), Kanada Su Kalitesi İndeksi (CWQI) ve Oregon Su Kalitesi İndeksi (OWQI)’dir. Bu indekslerin hesaplanmasında kullanılan parametreler Çizelge 2.5’te yer almaktadır.

Çizelge 2.5. *Su kalitesin indekslerinin hesaplanmasında ihtiyaç duyulan parametreler*

NSF-WQI	OWQI	CWQI
Çözünmüş oksijen doygunluğu	Çözünmüş oksijen (derişimi ya da %)	En az dört tane olmak şartıyla istenilen sayıda parametre
Fekal koliform	Fekal koliform	
pH	pH	
BOİ ₅	Sıcaklık	
Nitrat	BOİ ₅	
Toplam fosfor	Amonyak + Nitrat	
Sıcaklık değişimi	Toplam Fosfor	
Bulanıklık	Toplam Katı Madde	
Toplam Katı Madde		

2.2.1.Çözünmüş oksijen

Çözünmüş oksijen, akarsularda, göllerde ve diğer su ortamlarında su kalitesinin belirlenmesinde en önemli role sahiptir (Vesilind, Morgan, & Heine, 2014). Atmosferin yapısında bulunan azot ve oksijen gibi gazlar, sularda çözünmüş haldedirler. Sudaki oksijen çözünürlüğü sıcaklıkla ters orantılıdır. Soğuk sular, çözünmüş oksijen derişimi bakımından daha zengindirler (Güler, Su Kalitesi, 1997). Çözünmüş oksijen derişimi, suyun sıcaklığı, akımı, tuzluluğu, içerisindeki sucul yaşamın fotosentez faaliyetleri (alg ve bitkiler) ve su kaynağının bulunduğu yerin atmosferik basıncına göre değişmektedir. Sudaki organik maddenin fazlası ve bu organik maddenin bakteri faaliyetleri sonucunda indirgenmesi çözünmüş oksijen derişimini azaltır (Serdar, 2015).

Bir su ekosisteminin sağlıklı (bozulmamış) olup olmadığının değerlendirilmesinde sudaki oksijen derişiminin ölçülmesi tıpkı insanda nabız ölçülmesi gibi önemli bir göstergedir. Sudaki oksijen miktarının bilinmesi, günlük ve yıllık döngüde üretim ve tüketim arasındaki değişim hızının belirlenmesi açısından da gereklidir (Odum & Barret, 2008).

Çözünmüş oksijen derişiminin az ya da sıfıra yakın olduğu sularda, septik koşullar oluşur ve koku sorunu ortaya çıkar (Güler, Su Kalitesi, 1997). Dolayısıyla sudaki çözünmüş oksijenin yüksek seviyelerde olması tercih edilir. Zira bu parametre, diğer kalite parametrelerini de etkilemektedir. Sucul yaşamın sürdürülebilirliği sudaki oksijen varlığına bağlıdır. Alg aktiviteleri, oksijen derişiminden doğrudan etkilenmektedir. (Yılmaz B. , 2015). Özellikle sıcaklığın arttığı, su akımının yavaşladığı yaz aylarında yüzeysel su kaynaklarında oksijen derişiminin düşmesine bağlı olarak toplu balık ölümleri görülebilmektedir. Sucul yaşamın devam ettiği yüzeysel su kaynaklarında (göl,

akarsu vb.) balık ve diğer canlılar için çözünmüş oksijen derişimin en az 6 mg/L olması gereklidir. Bu derişim, bu ortamlarda yaşamın devamı için gerekli asgari seviyedir (Çoban, 2007).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2019) tarafından yayımlanan Karadeniz Deniz Kalitesi Bülteni'nde, 2018 yılı kış ve yaz ayında yüzeyden 70 metre derinliğe kadar çözünmüş oksijen derişimi değerin 5-10 mg/L arasında değıştiğı raporlanmıştır.

Karagöl'de (Sivas) yapılan bir çalışmada, araştırmacılar Kasım 2011'den başlayarak bir yıl boyunca aylık olarak su numuneleri almışlardır. Yapılan analizler sonucu ortalama çözünmüş oksijen derişimleri kış için 11,16 mg/L; ilkbahar için 10,27 mg/L; yaz için 7,73 mg/L ve sonbahar için 7,69 mg/L olarak ölçülmüştür (Mutlu, Yanık ve Demir, 2013).

30.11.2012 tarihli ve 28483 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğı (YSKY) Ek-5'te verilen "Yerüstü Su Kütlelerinde Bazı Parametreler İçin Çevresel Kalite Standartları ve Kullanım Maksatları" tablosunda, I. Sınıf sular için >8 mg/L, II. Sınıf sular için 6 mg/L, III. Sınıf sular için 3 mg/L, IV. Sınıf suların ise <3 mg/L olarak sınır değeri belirlenmiştir.

2.2.2. Fekal koliform

Fekal koliform bakterileri, Enterobacteriaceae ailesine dâhil olan koliform grup bakterilerin dışkı kökenli alt grubudur (Çizelge 2.6). Fakültatif anaerob, gram negatif ve spor oluşturmeyen, çubuk şeklindeki bakterilerdir. Bu grup, *Escherichia coli* (Koli basili – *E. coli*) ve *Klebsiella pneumoniae* türlerinden oluşmakta olup büyük çoğunluğu *E.coli* bakterileridir (Çizelge 2.7). Sıcakkanlı olarak tabir edilen canlıların kalın bağırsaklarında yaşadıkları için sudaki dışkı varlığını gösteren mikrobiyolojik indikatör canlılardır. Bunun dışında bitkilerde ve toprakta çürükçül olarak yaşarlar (Akar, 2009; Şahin, 2018).

İndikatör olmaları sayesinde, herhangi bir örnekte *E.coli* ve/veya fekal koliform bakterilerinin tespit edilmesi, bu kaynağı doğrudan ya da dolaylı olarak dışkı bulaştığını gösterir. Bu indikatör özelliğı, söz konusu bakterinin insan dışkısında 10^8 adet/gr seviyesinde bulunması sayesinde çok seyreltik oranlarda kontaminasyonlarda dahi tespit edilebilmesi sayesinde (Şimşek, 2011).

Bazı koliform bakterileri insanlar, hayvanlar, bitkiler ve böcekler için patojenik olabilmektedirler. Bu bakterilerle kirlenmiş suların içilmesi halinde ishal ve mide bulantısı yoğunluklu çeşitli mide ve bağırsak hastalıkları ortaya çıkmaktadır (Genç, 2006). Dolayısıyla, alınan örneklerde fekal koliform bakteri miktarının limit değerlerin üzerinde saptanması halinde, su kaynağının enfeksiyon yayıcı özellikle olduğu ortaya çıkmaktadır (Akar, 2009).

Çizelge 2.6. *Enterobacteriaceae* familyasının sınıflandırma piramidi (Akar, 2009; Brenner, Krieg ve Staley, 2005)

Sistemik hiyerarşi	
Alem	Bacteria
Şube	Proteobacteria
Sınıf	Gammaproteobacteria
Takım	Enterobacteriales
Aile	Enterobacteriaceae

Çizelge 2.7. *Enterobacteriaceae* familyasının bazı özellikleri (Akar, 2009; Brenner, Krieg ve Staley, 2005)

Tür	Hareket	Ortam	Patojenite	Kapsül
<i>Enterobacter aerogenes</i>	+	Toprak, su vb.	+	±
<i>Citrobacter freundii</i>	+	Dışkı	+	+
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	-	Dışkı, toprak, su, meyve	+	+
<i>Hafnia alvei</i>	+	Dışkı, toprak, su, vb.	+	-

06.07.2019 tarih ve 30823 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik’te (İSTESKAHY) yer alan “Ek-1 Kategorilere Göre Su Kalite Standartları” tablosunda, fekal koliform için A1 tipi sularda 20 EMS/100 mL; A2 tipi sularda 2000 EMS/100 mL ve A3 tipi sularda ise 20000 EMS/100 mL olarak sınır değerler verilmiştir (İSTESKAHY, 2019). Bunun yanı sıra, 17.02.2005 tarihli ve 25730 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak

yürürlüğe giren İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te (İTASHY), “Ek-1 Parametreler ve Sınır Değerleri” tablosunda, içme suları ile kaynak suları için *E.coli* ve koliform bakteri sınır değeri 0/250 mL olarak yer almaktadır.

Sarıdoğan (2019) tarafından Eskişehir Musaözü Baraj Gölü'nde yapılan çalışmada bir yıl boyunca çeşitli istasyonlardan mevsimlik olarak su numuneleri alınmış, alınan numuneler fekal koliform parametresi bazında analiz edilmiştir. Araştırmacı tarafından, sonbahar, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde gölde en yüksek fekal koliform derişiminin +1100 EMS/100 mL olduğu, kış mevsiminde ise en yüksek değerin 19 EMS/100 mL olarak ölçüldüğü, hiçbir mevsimde en düşük değerin 0 olmadığı, dolayısıyla bu su kütlesinin İTASHY'e göre, kullanım için uygun olmayacağı bildirilmiştir (Sarıdoğan, 2019).

Şahin (2018) tarafından Porsuk Çayı membaından Sakarya Nehri birleşimine kadar olan akarsu boyunca seçilen 17 istasyonda bir yıl boyunca yapılan çalışmada, aylık olarak su numuneleri alınarak su kalitesi indeksleri hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında izlenen parametrelerden olan fekal koliform için; Mayıs 2016 numunelerinde izleme yapılan 13 istasyonda +1100 EMS/100 mL değeri ölçülmüştür. Yıl içerisinde en yüksek değerlerin de yine bu ayda ölçüldüğü bildirilmiştir (Şahin, 2018).

2.2.3. pH

Latince “potentia hydrojenii” sözcüklerinin kısaltması şeklinde ifade edilen pH, su ya da çözelti içerisindeki hidrojen iyonunun 10 tabanına göre negatif logaritması olup asitlik veya bazlık durumunun şiddetini göstermektedir. (Ölmez & Saraç, 2009). 1-14 aralığında derecelendirilen pH değeri 7 olduğunda ise nötr olarak adlandırılır. Bu durumda sudaki H^+ ve OH^- iyonlarının denge halinde bulunduğundan bahsedilebilir. Bu denge eğer H^+ iyonları artarsa pH'nın azalması (asitlik) ya da OH^- iyonlarının artması halinde ise pH'nın artması (bazlık) yönünde değişmektedir. Yerüstü ve yeraltı su kaynaklarında çok değişkenlik göstermekle birlikte 4-9 aralığında ölçülmektedir (Şengül ve Müezzinoğlu, 1993; Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Durgun su kütleleri olan göllerde pH değerleri 6-9 aralığında değişir. Kireçli toprak yapısına sahip arazilerde ise çözünmüş karbonatın suya geçmesiyle pH değeri 9'a çıkabilir. Eğer gölden bir akıntı yoksa buharlaşma sonucu alkali madde birikimine bağlı olarak pH değeri giderek bazikleşir ve 12'yi bulabilir. Bazı maden yataklarında ve

volkanik göllerde ise sülfirik asit birikmesi sonucu pH değeri 1,7 seviyelerine kadar düşebilmektedir (Ölmez & Saraç, 2009).

Yüzeysel sulardaki pH değişimi genellikle endüstriyel deşarjlardan etkilenmektedir. pH değeri eğer anlık olarak düşüyorsa noktasal bir kaynaktan ani/kontROLSÜZ bir deşarj var anlamına gelir. Bunun dışında sularda pH değişimini etkileyen faktörler toprağın yapısı, drenaj suları baskısı, suda yaşayan fitoplanktonların yoğunluğu ve diğer deşarjlardır. Bazı bileşiklerin (amonyak, siyanür, sülfür vb.) ve ağır metallerin su yapısında aktif hale geçmeleri yine pH sayesinde mümkün olmaktadır. Uygun pH'larda bu sayılan bileşik ve iyonlar su yapısında toksik etki oluştururlar. Düşük pH değerlerinde ağır metaller reaksiyona girerek toksik etki oluşturan yan ürünler ya da iyonlar haline dönüşebilirler (Munsuz ve Ünver, 1995; Fatoki ve Awofolu, 2003).

pH'ın suyun kalitesine olan etkisinin yanı sıra tüketiciye olan etkileri de önemlidir. Pek çok biyolojik ve kimyasal reaksiyonun başlayabilmesi için uygun pH aralığı gereklidir. Örneğin düşük pH değerine sahip asidik sular, taşındıkları ikmal hatlarında aşındırıcı etki gösterip özellikle metallerin suyun yapısına geçmesini kolaylaştırırlar. Yüksek pH değerine sahip sular ise bazların kayganlaştırıcı olma özelliklerine atıfla, içimde tat sorunu ortaya çıkarmaktadırlar. Sadece pH değerine bakarak suyun kalitesi hakkında fikir edinilemez ancak özellikle sanayide kimyasal koagülasyon, dezenfeksiyon, sertlik giderme ve korozyon kontrolü gibi işlemlerde büyük önem arz eder (İkinci, 2016).

YSKY Ek-5'te verilen "Yerüstü Su Kütlelerinde Bazı Parametreler İçin Çevresel Kalite Standartları ve Kullanım Maksatları" tablosunda, tüm kalite sınıfları için pH değerinin 6-9 aralığında olması, İSTESKAHY "Ek-1 Parametreler ve Sınır Değerleri" tablosunda ise tüm kalite sınıfları için 6,9-9,5 aralığında olması istenmektedir.

Mutlu, Yanık ve Demir (2013) tarafından Karagöl'de (Sivas) yapılan çalışmada, araştırmacılar Kasım 2011'den başlayarak bir yıl boyunca aylık olarak su numuneleri almışlardır. Yapılan analizler sonucu ortalama pH değerleri kış için 8,57; ilkbahar için 8,78; yaz için 8,90 ve sonbahar için 8,80 olarak ölçülmüştür (Mutlu, Yanık, & Demir, 2013).

Gültekin vd. (2011) tarafından Trabzon ili sınırlarında yapılan çalışmada çeşitli yüzeysel akarsuların (derelerin) hidrokimyasal özellikleri ve su kalitesi belirlenmiştir. 15

farklı akarsuda yapılan analizlerde 6,9-9,9 aralığında değişen pH değerleri ölçölmüştür. Akarsuların pH değerlerine göre Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Kıta İçi Su Kaynaklarının Kalite Kriterleri'ne göre içme-kullanma suyu olarak kullanıma uygun oldukları belirlenmiştir.

2.2.4. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), aerobik mikroorganizmaların suyun içerisindeki organik maddeleri (besin maddeleri) ayrıştırarak parçalaması için gerekli olan oksijen miktarıdır. Organik maddelerin parçalanarak stabilize olmaları, suyun kirleticilerden arındırılması ve arıtılması anlamına geldiğinden bu süreç için gerekli oksijen miktarının ölçüsü olan biyokimyasal oksijen ihtiyacı, en temel ve mevzuatlar bazında da takip edilen bir su kalitesi parametresidir (Şahin, 2018; Akyüz, 2016). Ulusal ve uluslararası mevzuatlar, atıksuların alıcı ortama deşarj edilmesi sürecinde arıtma tesislerinin veya yöntemlerinin verimliliğini ve kirliliğın yükünü bu parametreyi baz alarak belirlemektedir.

Biyokimyasal oksidasyon işlemi, su ortamında gerçekleşen bir “yanma” olayıdır ve bu süreç boyunca suda çözünmüş halde bulunan oksijen kullanılır. Süreç boyunca ne kadar fazla oksijen harcanırsa sudaki organik madde (besin) miktarının da o kadar fazla olduğu anlaşılr (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2005).

Pek çok anlık ölçölen parametrenin ve analizleri saatler içerisinde tamamlanabilen parametrenin aksine, biyokimyasal oksijen ihtiyacı analizi 20° C sabit sıcaklıkta beş gün boyunca devam eder. Sonuçlar ise BOİ₅ şeklinde raporlanır. BOİ, su içerisindeki organik maddelerin (besin maddelerinin) biyokimyasal yollarla parçalanması (oksidasyonu) için gereken oksijen miktarını ifade ederken, bu oksidasyon prosesinin teorik olarak sonsuz olması, deneysel çalışmalar sonucunda ise 20 günün sonunda tamamlandığı kabul edilmektedir (Şahin, 2018). Ancak beşinci günün sonunda deneyin büyük oranda tamamlandığı varsayıldığından beşinci günde ölçölen BOİ değeri ile ilk gün ölçölen BOİ değerinin farkını hesaplanarak raporlanır.

BOİ, her ne kadar standart ve öncelikli bir su kimyası parametresi olarak kabul edilse de yinelenebilirliğinin ve hassasiyetinin Kimyasal Oksijen İhtiyacı kadar iyi olmaması, yalnızca biyolojik olarak oksitlenebilen organik maddeleri ölçüp

mikroorganizmalara bağılı olması, beş gün süren deney süresi nedeniyle anlık kontrol ihtiyacına cevap vermemesi ve laboratuvarında fazladan zaman ve iş gücü gerektiren bir parametre olması gibi dezavantajlara sahiptir (http-1).

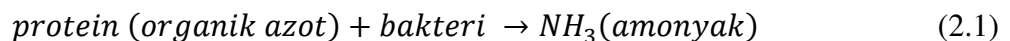
YSKY Ek-5'te verilen "Yerüstü Su Kütlelerinde Bazı Parametreler İçin Çevresel Kalite Standartları ve Kullanım Maksatları" tablosunda, I. Sınıf sular için <4 mg/L, II. Sınıf sular için 8 mg/L, III. Sınıf sular için 20 mg/L, IV. Sınıf sular için ise >20 mg/L olarak sınır değerleri belirlenmiştir.

Mutlu vd. (2017) tarafından Güneydoğu Karadeniz bölgesinde Rize ili kıyılarına dökülen Sarayköy, Der pazarı, Çiftekavak, Taşlıdere akarsularının fiziko-kimyasal su kalitesi Mayıs 2011-Mayıs 2012 tarihleri arasında 13 aylık süreyle araştırılmış olup belirlenen BOİ₅ değerlerden en düşük değerin Ocak ayında (0,1 mg/L) Der pazarı'nda ve en yüksek değerin Ekim ayında (2,6 mg/L) Çiftekavak istasyonunda ölçüldüğü raporlanmıştır. Ayrıca çalışmada bütün akarsular ve örnekleme dönemleri dikkate alındığında BOİ₅ değerlerinin Mart ayı içerisinde bir önceki aya göre fark edilir derecede arttığı görülmektedir.

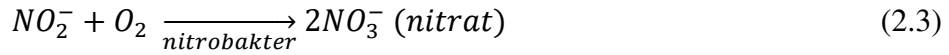
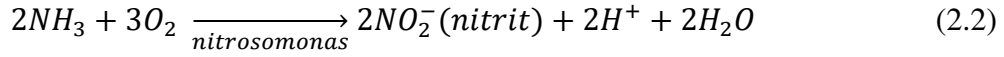
Köse vd. (2016) tarafından Porsuk Çayı üzerinde yapılan çalışmada, akarsuyun kaynak noktasından Sakarya Nehri'yle birleştiği noktaya kadar olan bölümünde 18 istasyon belirlenerek kentsel baskıların saptanmasına çalışılmıştır. Bu kapsamda ölçülen su kalitesi parametrelerinden olan Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı için en yüksek değer Kütahya ili sınırları içindeki istasyonda 14,91 mg/L olarak ölçülmüştür. Bunun dışında Kütahya ilinin hemen çıkışındaki istasyonda 12,8 mg/L olan BOİ değeri nin Porsuk Barajı çıkışında ciddi oranda iyileşme göstererek 2,07 mg/L'ye gerilediği raporlanmıştır.

2.2.5. Nitrat

Nitrat (NO₃⁻); azotlu bir iyon olup doğada çeşitli çevrimler sonucunda ortaya çıkar (Görsel 2.1). Dolayısıyla başta toprak olmak üzere, yeraltı ve yerüstü su kaynaklarında ve bitkilerin yapısında bulunur. Yapısında bulunduğu bitkilerin ve hayvansal artıkların bozularak önce nitrite, daha sonra da nitrate dönüşümüyle yeniden azot döngüsüne dahil olmaktadır. Söz konusu azot çevrimi organik azotun bakteriler tarafından parçalanarak amonyaka (NH₃) dönüşmesiyle başlar (2.1) (Samsunlu, 2005).



Amonyak ise anorganik azot bileşiklerinin en fazla indirgenmiş halidir. Doğada biyokimyasal yoldan *Nitrosomonas* grubu bakterilerin etkisiyle aerobik koşullarda nitrite (NO_2^-) oksitlenir (2.2) ve çok daha hızlı bir reaksiyonla nitrata dönüşür (2.3) (Samsunlu, 2005).



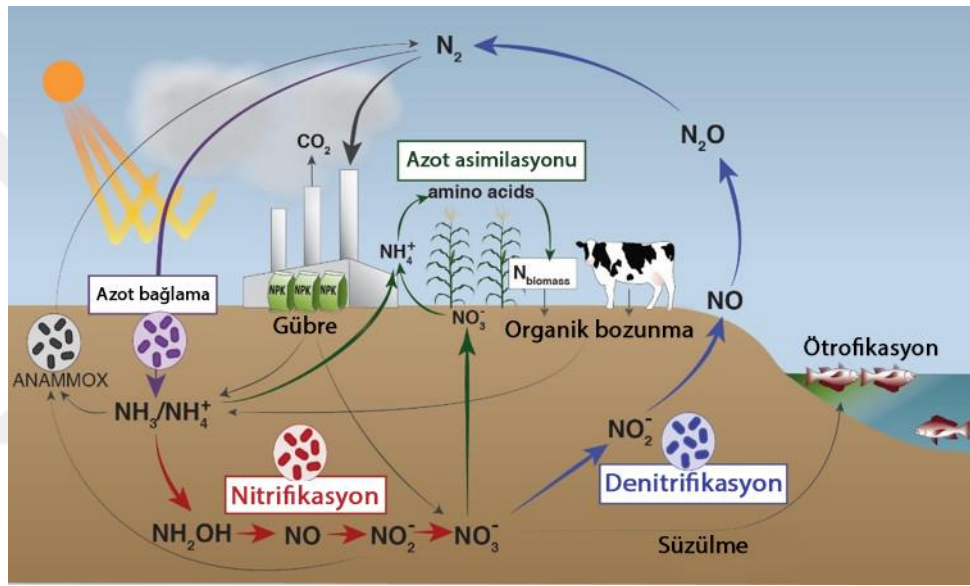
Yukarıdaki (2.2) ve (2.3) reaksiyonlarının ikisine birden nitrifikasyon denir. Nitrifikasyon sonucunda oluşan nitrattın özellikle sulardaki varlığı kirliliği göstermektedir. Özellikle yüzeysel sularda azotlu bileşiklerden kaynaklı olarak nitrattın aşırı birikmesi, o yapıda bulunan bitkilerin de aşırı büyümesine yol açar. Bunun yanı sıra kullanma sularında ve tüketilebilir bitkilerin yapısında nitratt bulunması, sağlık açısından zararlıdır. Alınan nitrattın vücut yapısı içerisinde nitrite indirgenmesi toksik etki gösterip kanser oluşumuna neden olabilmektedir (Eren, 2006). Aynı indirgenme reaksiyonunun sonucu olarak 20 mg/L'den fazla derişimde nitratt içeren sularla hazırlanan gıdaları (mama vb.) tüketen 6 aylığa kadar olan bebeklerde halk arasında “mavi bebek hastalığı” olarak bilinen methemoglobinemi ortaya çıkabilmektedir (Bilgin M. , 2003).

Nitrattın anaerobik şartlar altında nitrite indirgenmesine denitrifikasyon denilir. Nitratt, mevcut haliyle tamamen okside olarak mineralize olmuş ve kirlilik bakımından zararsızdır. Ancak bunların uygun koşullarda nitrite indirenmeleri durumu her zaman için risk taşımaktadır. Nitrattın doğal kaynakları volkanik kayaçlar, toprak, ölü hayvanların bozunmasıdır. Bunun yanı sıra kanalizasyon atıksularında, deponi alanı sızıntı sularında ve özellikle de tarımsal arazilerde kullanılan nitrattlı gübrelerin yüzey sularıyla yıkanarak ve topraktan süzülerek su ortamına geçmesi sonucunda derişimleri artar (Yılmaz G. , 1999). Özellikle yağışlardan sonra akarsularda daha fazla nitratt derişimi ölçülmesi beklenir.

Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğı Ek-5'te verilen “Yerüstü Su Kütlelerinde Bazı Parametreler İçin Çevresel Kalite Standartları ve Kullanım Maksatları” tablosunda, I. Sınıf sular için <3 mg/L, II. Sınıf sular için 10 mg/L, III. Sınıf sular için 20 mg/L, IV. Sınıf sular için ise >20 mg/L olarak sınır değerleri belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, 23.07.2016 tarihli ve 29779 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren

Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği (TKNKSKY) kapsamında, ilgili Bakanlıklar tarafından suyun ve toprağın fiziksel ve çevresel özellikleri ile azot bileşiklerinin su ve topraktaki miktarları dikkate alınarak 50 mg/l den fazla nitrat içeren su kaynaklarının tespit edilerek buralardaki su kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla eylem planları oluşturulması gerektiği ifade edilmektedir.

Calow ve Petts (1992) tarafından, kirlenmemiş akarsu ortamlarında ortalama nitrat derişimi 100 µg/L, ortalama amonyak derişimi 15 µg/L ve ortalama nitrit derişimi ise 1 µg/L olarak verilmiştir.



Görsel 2.1. Azot döngüsü (http-2, düzenlenerek)

Ağaoğlu vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada Van ili sınırlarında yer alan ilçelerdeki su kaynaklarında nitrat ve nitrit seviyeleri belirlenmiştir. Araştırmacılar bu amaçla çeşitli yerüstü ve yeraltı su kaynaklarından toplamda 366 adet numune alarak spektrofotometrik yöntemle analizleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışma kapsamında, Van Merkez ve ilçelerinde bulunan su kaynaklarında ortalama nitrat düzeyleri akarsularda 5,18 mg/L ve 4,99 mg/L; yeraltı su kaynakları olan kuyularda ise 35,92 mg/L ve 24,75 mg/L olarak saptanmıştır. Nitrit derişimlerinin ise tüm kaynaklarda 0,1 mg/L olarak tespit edildiği belirtilmektedir.

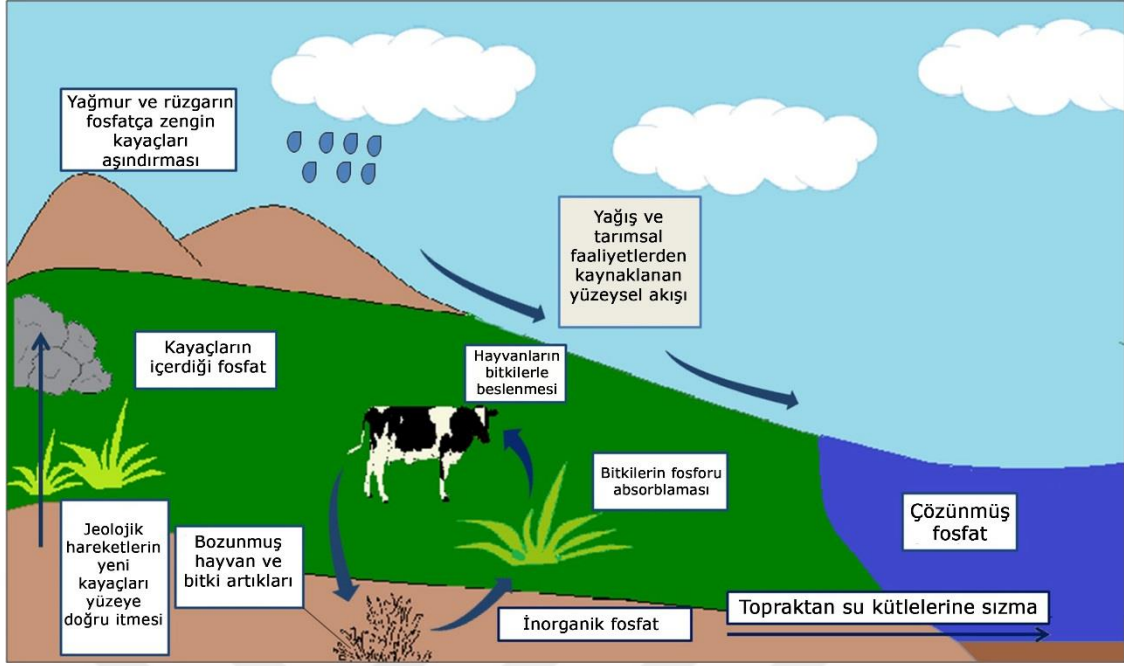
Adalena vd. (2020) tarafından yapılan çok kapsamlı çalışmada, Avustralya'nın Viktorya eyaletinde bulunan 159 noktada 1962-2001 yılları arasında yapılan düzenli ölçümlerin tamamının değerlendirilmesi sonucunda, bu bölgedeki yeraltı sularında nitrat

derişimlerinin fazla derin olmayan yeraltı sularında 0,03–439,3 mg/L arasında olduğu ve ortalamasının 26,2 mg/L olduğu ortaya konulmuştur. Yazarlar, akifer derinliği (yeraltı suyu kaynağının temin edildiği kuyunun) arttıkça nitrat derişiminin azaldığını ifade etmişlerdir.

2.2.6. Toplam Fosfor

Bitki gelişimi için gerekli olan besin maddeleri karbon, azot ve fosfordur. Alman Kimyacı Justus von Liebig tarafından ortaya konan “Liebig’in Minimum Yasası” olarak bilinen kurama göre, bir ortamda hangi besin maddesi az ise bu ortamdaki gelişimi sınırlandıran madde de odur (Paul, 2007). Yine bu yasaya göre göllerde sınırlandııcı element fosfordur (http-3). Fosfor derişiminin artması doğal sularda ötrofikasyona yol açar. Bu açıdan bakıldığında fosfor ve fosforlu bileşiklerin kontrol önemlidir (Serdar, 2015).

Fosfor doğal sularda fosfat (PO_4^{3-}) formunda bulunmakta olup organik veya inorganik yapıda olabilir. Sularda bulunabilen ortofosfatlar, polifosfatlar ve organik bağlı fosfatların hepsine birden Toplam Fosfor (TP) denir. Doğada döngü halinde olan fosfor, su ortamına kayaların ve toprağın doğal yapısından geçer (Görsel 2.2). Bunun yanı sıra, endüstriyel atıklardan ve gübrelerden de yüksek miktarda fosforun suya geçmesi mümkündür. Yayılı kaynaklardan deşarj edilen fosfor nüfusun yoğunluğuna, tarımsal gübreleme faaliyetlerinin sıklığına, hayvancılık faaliyetlerine ve kanalizasyon sistemlerinin verimli işletilip işletilmemesine göre alıcı ortama geçer. Fosfatın sudaki varlığı (bir besin maddesi olan fosfor dolayısıyla) suyun oksijen çözünmüş oksijen derişiminin genellikle yüksek olduğu üst tabakalarda bulunan alglerin ve fotosentez yapan diğer bitkilerin aşırı miktarda çoğalmasını sağlar. Bu durum ötrofikasyonun yanı sıra, içme suyu temininde kullanılan kaynaklarda suda tat ve koku problemlerine yol açar (http-3; Güler, 1997; Serdar, 2015).



Görsel 2.2. Fosfor döngüsü ((Shmeis, 2008) düzenlenerek)

Sularda tespit edilen fosfor kirlenmesinin %83 oranında kanalizasyon ve endüstriyel atıksu deşarjlarından olduğu ifade edilmektedir. Kanalizasyonlardan kaynaklanan evsel nitelikli atıksulardaki fosfatın ise büyük oranda deterjanlardan kaynaklandığı görülmüştür (Kumbur, 1981).

Su ortamında bulunan 1 mg fosfor, 100 mg alg biyokütlesinin üretimine neden olur. Özellikle durgun sularda dip sedimenti, suya kıyasla daha fazla fosfor taşıyabilir. Bu durumda sediment tabakasına içsel kaynak denir. Dibe çöken biyokütlenin mineralizasyonu için ise yaklaşık 140 mg/L çözünmüş oksijen derişimine ihtiyaç vardır (Katip vd., 2013; [http-3](http://3)).

YSKY Ek-5'te verilen "Yerüstü Su Kütlelerinde Bazı Parametreler İçin Çevresel Kalite Standartları ve Kullanım Maksatları" tablosunda, I. Sınıf sular için <0,08 mg/L, II. Sınıf sular için 2 mg/L, III. Sınıf sular için 8 mg/L, IV. Sınıf sular için ise >8 mg/L olarak sınır değerleri belirlenmiştir.

Katip vd. (2013) tarafından yapılan Akçalar Deresi ve Uluabat Gölü'nde yapılan çalışmada, alınan su örneklerinde toplam fosfor (TP) ve fosfat parametreleri incelenmiş olup Akçalar Deresinde yıllık ortalama 0,48 mg/L TP ve 0,39 mg/L fosfat; Uluabat Gölü'nde ise 0,138 mg/L TP ve 0,082 mg/L fosfat derişimi saptanmıştır. Çalışmada akarsuyun, göle göre daha yoğun kirliliğe maruz kaldığı saptanmıştır. TP ve $PO_4^{3-}P$

yüklerinin mevsimsel değişimi incelendiğinde ise her iki parametrenin de Temmuz, Ağustos olmak üzere yaz aylarında, Şubat ve Mart olmak üzere kış sonu ve ilkbahar başında yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar bu durumu yaz ve ilkbahar aylarındaki fosfor artışının bu aylardaki yağış yüksekliğinin fazla olmasına ve ilkbahar- yaz aylarında tarım ürünlerinden yüksek miktar ve kalitede ürün alabilmek için azotlu ve fosforlu gübreler kullanılmasına bağlamaktadırlar (Katip vd., 2013).

2.2.7. Sıcaklık

Sıcaklık parametresi, numune alımı esnasında arazide ölçülen öncelikli parametrelerden olup pH ile sudaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri kontrol eden önemli bir parametredir. Sudaki yoğunluk, basınç, tuzluluk, yatay ve düşey su hareketi gibi diğer fiziksel özellikleri de etkiler (Kadak & Aras, 2017). Ani sıcaklık değişimi suda yaşayan canlıların hemen adapte olabilecekleri bir durum değildir (Şahin, 2018). Çünkü su ortamının sıcaklığı arttıkça çözülmüş oksijen derişimi azalır. Bu durumda suda yaşayan canlılar olumsuz etkilenir, ayrıca suyun kalitesi de düşer.

Gazların ve tuzların suda erimeleri sıcaklıkla ilişkili olduğundan sıcaklık, suyun kimyasal özelliklerini de etkiler. Suda çözülmüş karbondioksit gazının sıcaklık değişimine bağlı olarak artması ya da azalması sebebiyle suyun pH değeri de dolaylı olarak etkilenir (Kadak & Aras, 2017).

Su ortamında meydana gelen biyokimyasal tepkimelerin hızı da sıcaklıktan etkilenir. Sıcaklık arttıkça fizyolojik ve biyolojik aktiviteler yükselir. Canlıların üreme ve büyüme hızları sıcaklığa göre değişir (Barlas & Kiriş, 2004). Sıcaklığa bağlı olarak su yapısındaki bakterilerin solunum hızı artar. Bu durumda sudaki çözülmüş oksijen tükenir ve organik maddeler bozunur. Dolayısıyla suda kirlilik başlar (Yılmaz G. , 1999).

İçme sularında sıcaklık, suyun lezzizliğine de etki eden bir parametredir. En uygun sıcaklığın 7-14 °C olması istenir. Özellikle derin kaynaklardan elde edilen sular ile ince taneli tabakalardan süzülerek gelen suların sıcaklığı, atmosferdeki sıcaklık değişimlerinden etkilenmediğinden bu tip sular hijyenik açıdan da içebilir niteliktedir (Demirer, 1992).

Çiftçi (2015) tarafından Seydisuyu (Eskişehir) Havzası'nda yapılan çalışmada, akarsu boyunca belirlenen istasyonlardan numuneler alınarak su kalitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda ölçülen parametrelerden biri olan sıcaklık değerleri için kış mevsimi ortalaması 8,83 °C, sonbahar ve ilkbahar mevsimleri ortalaması 18,95 °C ve yaz mevsimi ortalaması 21,13 °C olarak ölçülmüştür.

2.2.8. Bulanıklık

Bulanıklık, suyun içerisinde askıda ya da çözünmüş halde bulunan maddelerden dolayı dağılan ışığın geçirgenliğinin ölçüsüdür. Suda bulanıklığa neden olan maddeler askıda veya çözünmüş durumdaki organik veya inorganik maddeler (demir, mangan, sülfür, kalsiyum karbonat vb.), çözünür renkli organik bileşikler, planktonlar, kum, silis, kil ve diğer mikroskobik organizmalardır. Bulanıklık suyun optik geçirgenliğini azaltarak ışığın geçişini ve alt tabakalara ulaşmasını engeller (Güneş, 2019; Kırmızı, 2010). Sudaki bulanıklığın nedeni cansız maddeler ise o suyun biyolojik verimliliği düşük, canlı maddeler ise verimliliği yüksektir. Bulanıklık arttıkça fotosentez kabiliyeti azalmaktadır. Böylece sudaki oksijen ve plankton üretimi azalarak sucul yaşamdaki besin dengesi bozulmaktadır (Serdar, 2015).

Sularda bulanıklığa sebep olan büyük parçaların arındırılması çöktürme ya da filtrasyonla kolaylıkla sağlanabilir. Ancak özellikle 0,01-5 µm boyutundaki parçalar için filtrasyon ya da çöktürme süreçleri çok daha uzun sürmekte ve verimsiz olmaktadır. Parçacık boyutuna bağlı olarak bu partiküller kolaylıkla filtre gözeneklerinden kaçabilmektedirler (Solak, 2007).

Bulanıklık (turbidity) parametresini ifade etmek için NTU (Nephelometric Turbidity Unit), FNU (Formazin Nephelometric Units), FTU (Formazin Turbidity Units), FAU (Formazin Attenuation Units) ve JTU (Jackson Turbidity Unit) gibi birimler kullanılır.

06.07.2019 tarihli ve 30823 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik (İSTESKAHY) Ek-1'de verilen "Kategorilere Göre Su Kalite Standartları" tablosunda, bulanıklık parametresi için A1 kalitesinde sularda 1 NTU, A2 kalitesinde sularda 50 NTU ve A3 kalitesinde 500 NTU sınır değerleri verilmiştir.

Güneş (2019) tarafından yağışlı ve kurak dönemlerin Bartın Nehri su kalitesi üzerindeki etkisinin fizikokimyasal parametrelerle belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, bulanıklık değeri her iki dönem (Temmuz-Ağustos ve Kasım-Aralık) için de ortalama 19 NTU olarak belirlenmiştir. Yazar ayrıca, her iki dönemde bulanıklığa neden olan bileşiklerin farklı olduğunu, yağışlı dönemde hemen yağış sonrasında, yağmurla birlikte akarsuya taşınan silt, kil gibi toprak partiküllerin bulanıklığın esas nedeni olduğunu; kurak dönemde ise mikroorganizmaların, planktonların, çözünmüş organik ve inorganik bileşiklerin bulanıklığın esas nedeni olduğu ifade etmektedir. Zira yağış sonrasında artan silt, kil gibi bileşenler belirli bir bekleme süresi sonrasında akarsuyun tabanına çökelmektedirler (Güneş, 2019).

Tunç Dede vd. (2013) tarafından Ankara’da Kirmir Havzası’nda yapılan çalışmada, havza içerisinde yer alan 10 farklı noktadan ve dereden periyodik olarak numuneler alınarak su kalitesi indeksinin belirlenmesine çalışılmıştır. Bu kapsamda ölçülen parametrelerden birisi de bulanıklıktır. Araştırmacılar, su kalitesinin “İyi” olarak belirlendiği 3 no.lu istasyonda bulanıklık değerlerini 0,71-11,00 NTU aralığında ölçmüşlerdir.

2.2.9. Toplam Katı Madde

Sularda buharlaştırma ve 103-105 °C’de kurutma işlemlerinden geriye kalan maddelerin tümü katı maddeler olarak sınıflandırılır. Bu maddeler suda askıda ya da çözünmüş halde bulunurlar. Yüksek derişimlerde katı madde içeren atıksular, arıtılması maliyetli ve genellikle zor olan atıksulardır. Bu tip suların arıtılması için atıksu arıtma tesislerinde ön çöktürme denilen ünitelerin bulunması gereklidir (Samsunlu, 2005).

Yüzeysel sulardaki katı maddeler, çökelerek dip çamuru oluşumuna neden olurlar ve tabanda anaerobik ayrışma başlar. Ayrıca bulanıklığa neden olarak ışık geçirgenliğini azaltırlar. Yüzeysel suların aksine, yeraltı sularında genellikle askıda katı madde derişimi azdır. Çünkü bu sular mevcut toprak tabakasından süzülerek yeraltına inerler (Samsunlu, 2005).

Toplam katı madde su yapısındaki çözünmemiş (askıda) katı maddeler (filtre edilebilen) ile toplam çözünmüş maddelerin (filtre edilemeyen) toplamıdır. Askıda katı maddeler ise çökemeyen katı maddeler (ince askıda katı maddeler) ile çökebilen katı

maddelerin toplamıdır. Toplam çözünmüş maddeler, uçucu çözünmüş madde ile sabit çözünmüş maddelerin miktarının toplamı olarak ifade edilir (Samsunlu, 2005).

2.2.10. Amonyum

Amonyum suyun yapısında bulunan bir katyon olup pek çok su kalitesi indeksi için aranan parametrelerden birisidir. Diğer azotlu bileşikler gibi sulardaki varlığının dikkatle takip edilmesi gerekir. Amonyakla iki yönlü bir etkileşim içerisindeydir. Amonyaga güçsüz bir asit eklenmesi halinde amonyum açığa çıkmaktadır.

Azot atmosferde yüksek oranda bulunmasına karşın bitkiler tarafından doğrudan alınamaz. Bitkiler tarafından kullanılabilen azot formları amonyum (NH_4^+) ve nitrat (NO_3^-) formlarıdır. Tarım faaliyetleri esnasında toprağa gübre olarak verilen azotun en çok %50'si bitkiler tarafından alınabilmektedir. *Geri kalan kısmı ise, hem ekonomi ve çiftçi açısından sorun teşkil eder; hem de çevre kirliliği açısından ciddi sorunlara neden olmaktadır* (Koca, 2013).

Su ortamındaki pH değeri yükseldikçe, denge halinde olan amonyum (NH_4^+) ve amonyak (NH_3) ikilisinden, daha zehirli olan amonyağın payı yükselir. Sudaki amonyak konsantrasyonunun 0,01 mg/L'nin üzerine çıkması, balıklar da dahil deniz canlıları için ölümcüldür. Dolayısıyla amonyak birikimi, pH değeri yüksek tuzlu suda daha önemli bir risktir (Ölmez & Saraç, 2009).

Musliu vd. (2018) tarafından Kosova'da bulunan Morova Nehri'nde yapılan çalışmada beş farklı noktada, 17 adet fizikokimyasal parametre dört mevsim boyunca ölçülmüştür. Çalışmada ölçülen amonyum değerlerinin 0,24-1,60 mg/L aralığında değiştiği, en düşük değerin kış mevsiminde, en yüksek değerin ise sonbaharda ölçüldüğü bildirilmiştir.

Ş. Şener, E. Şener ve Davraz (2017) tarafından Aksu Nehri'nde yapılan çalışmada, Ekim 2011 ve Mayıs 2012 tarihleri arasında 21 farklı lokasyondan iki dönem halinde su numuneleri alınarak fiziksel ve kimyasal analizleri gerçekleştirilmiş ve su kalitesi indeksi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda; yağışlı sezonda 0,03-3,78 mg/L aralığında değişen amonyak ve 0,03-4,13 mg/L aralığında değişen amonyum derişimleri

ölçülmüştür. Kurak sezonda ise 0,03-4,12 mg/L aralığında değişen amonyak ve 0,03-4,63 mg/L aralığında değişen amonyum derişimleri bulunmuştur.

2.3. Çalışmada Kullanılan Su Kalitesi İndeksleri

Bu tez çalışması sürecinde, üç farklı su kalitesi indeksi kullanılmıştır. Bu indeksler kullanılarak üretilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu indekslerin kullandıkları parametrelere ilişkin olarak “2.2. Parametreler” başlığı altında detaylı bilgi verilmiştir.

2.3.1. Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeksi (National Sanitation Foundation Water Quality Index – NSF WQI)

Horton (1965) tarafından geliştirilen indekse benzer şekilde (aslında aynı yapı üzerine inşa edilerek) geliştirilen ilk indeks, Brown vd. (1970) tarafından geliştirilen ve National Sanitation Foundation (NSF) tarafından da desteklenen NSF WQI’dir (Abbasi & Abbasi, 2012).

Söz konusu çalışmada, parametre seçimi çok daha titizlikle yapılarak ortak bir ölçek geliştirilmesi sağlanmıştır. Su kalitesi yönetiminde tecrübe sahibi 142 kişilik bir uzman kadrosuna, üzerinde düşünülen 35 farklı parametre sunulmuş ve önem derecesine göre en çok 15 parametrenin sıralanması istenilmiştir. Verilen sıralamalar tekrar değerlendirilip toplamda 11 parametreye indirgenmiştir. Bu parametreler önem sırasına göre; çözünmüş oksijen doygunluğu, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, bulanıklık, toplam katılar, nitrat, toplam fosfor, pH, sıcaklık değişimi, fekal koliform, pestisit ve toksik elementler olarak listelenmiştir. (Abbasi ve Abbasi, 2012; http-04).

Daha sonra uzmanlardan, bu parametrelerin farklı derişimlerinde su kalitesine olan etkileri için değerler atamaları istenmiş olup her bir parametrenin derişimine göre su kalitesine olan etkisini gösteren grafikler ortaya çıkartılmıştır. (İndeks hesaplanırken bu grafiklerden okunacak değerler alt indisler olacaktır.) Bu noktada, pestisit ve toksik element parametrelerinin derişiminin 0,1 mg/L’yi aşması halinde su kalite indeksinin doğrudan sıfır değeri verdiği belirlenmiş ve bu iki parametre, hesaplamada kullanılan nihai parametrelerden çıkartılmıştır (Abbasi & Abbasi, 2012).

Yapılan bu parametre değerlendirmelerini ortalama ağırlıklara dönüştürmek için en yüksek etkiye (ağırlık) sahip parametreye “1.0” puan verilerek önce bir geçici ağırlık

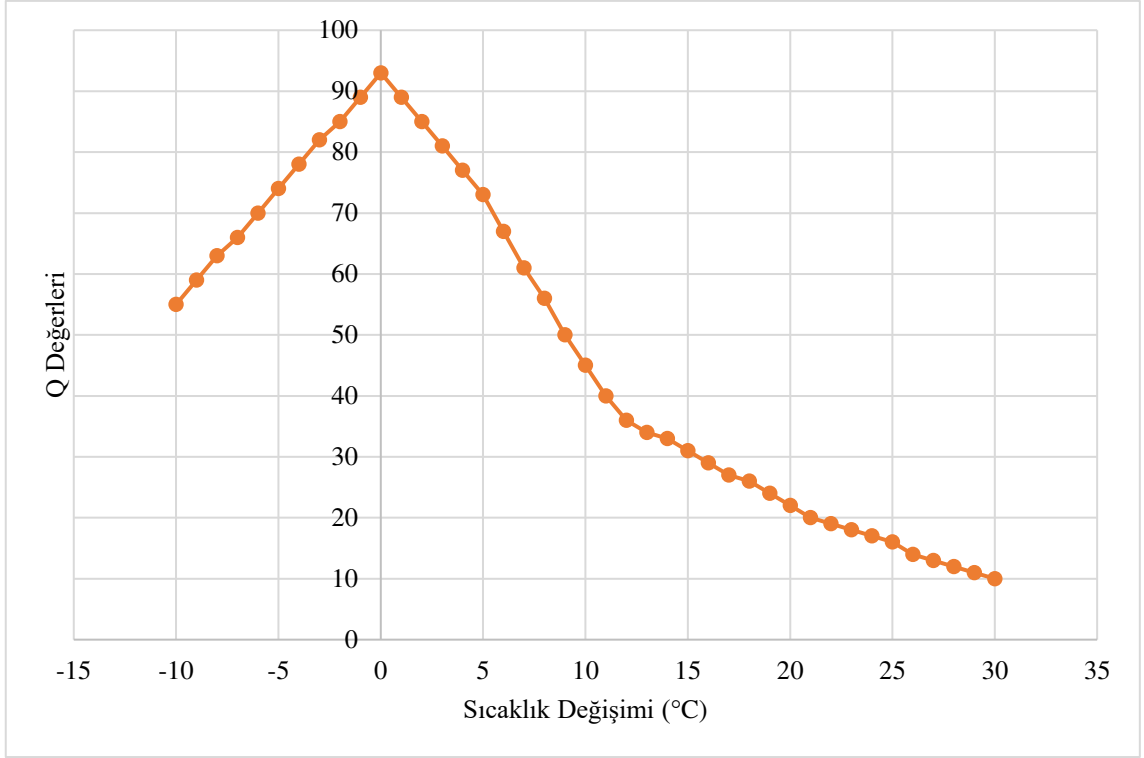
oluşturulmuş, diğer tüm geçici ağırlık (etki) değerleri de en yüksek derecenin bireysel ortalama derecesine bölünmesiyle elde edilmiştir. Nihai olarak indeksin hesaplanmasında kullanılan sıcaklık değişimi, pH, bulanıklık, fekal koliform, çözünmüş oksijen doygunluğu, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, toplam fosfor, nitrat ve toplam katı madde gibi dokuz su kalitesi parametresine ait ortalama dereceleri, geçici ağırlıkları ve nihai ağırlıkları Çizelge 2.8’de verilmiştir (Abbasi ve Abbasi, 2012; Kumar ve Alappat, 2009).

Çizelge 2.8. *NFS-WQI’da kullanılan parametrelerin önem sırası ve ağırlık faktörleri*

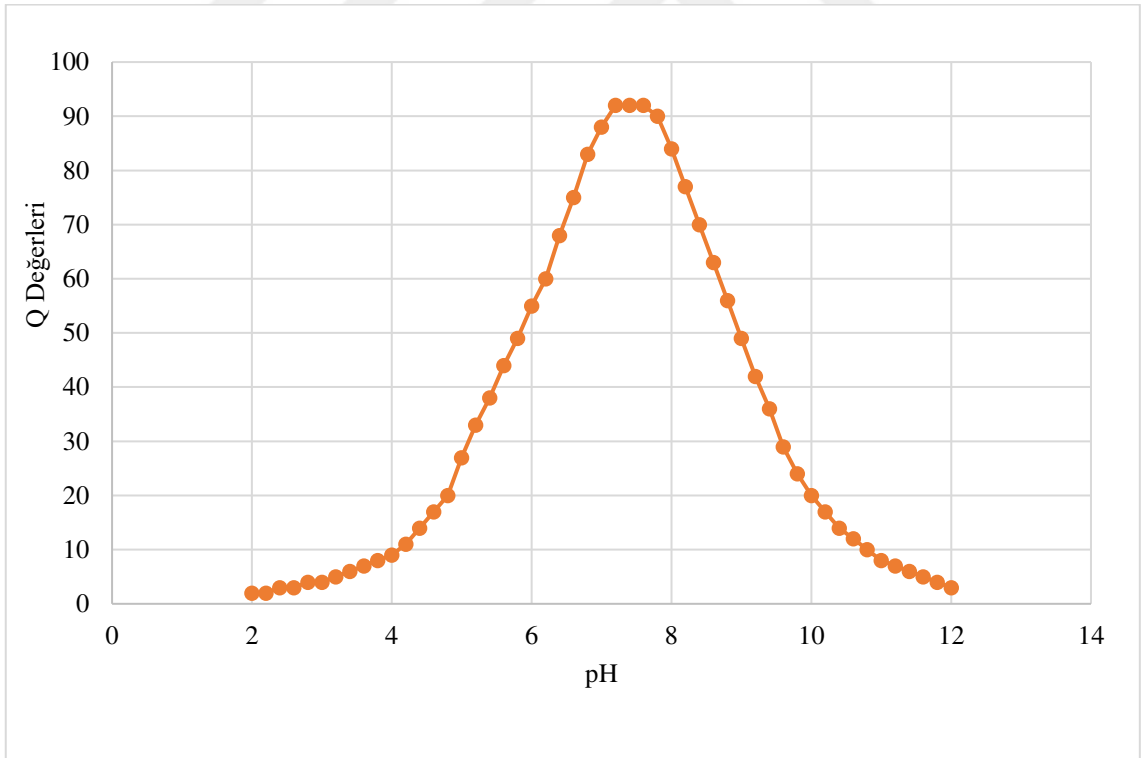
Parametreler	Ortalama Dereceleri	Geçici Ağırlık Faktörü	Ağırlık Faktörü
Çözünmüş oksijen %	1,4	1,0	0,17
Fekal koliform	1,5	0,9	0,16
pH	2,1	0,7	0,11
BOİ ₅	2,3	0,6	0,11
Nitrat	2,4	0,6	0,10
Toplam Fosfor	2,4	0,6	0,10
Sıcaklık Değişimi	2,4	0,6	0,10
Bulanıklık	2,9	0,5	0,08
Toplam Katı Madde	3,2	0,4	0,07
Toplam			1,00

Her bir parametre için belirlenmiş alt indis değerleri (Q) Şekil 2.1-2.9’da gösterilmektedir.

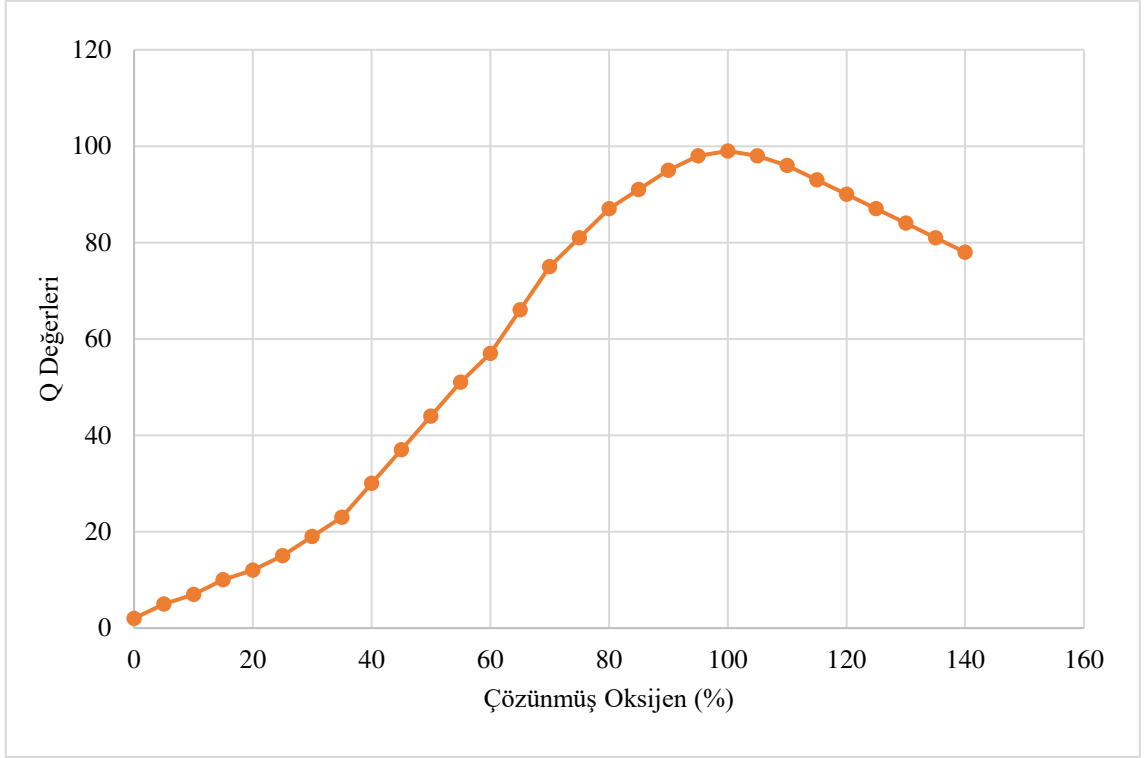
Bir noktanın yarım mil mansabıyla yarım mil membaı arasındaki sıcaklık değişimi, canlı yaşamını etkileyen bir faktör olarak hesaplamaya katılır (Thukral, Bhardwaj ve Kaur, 2005; http-05). Yani indekse “sıcaklık değişimi” olarak eklenecek faktör, numune alma noktasının memba ve mansap yönlerinde yaklaşık 750 metre mesafelerden ölçülen sıcaklık değerlerinin farkıdır.



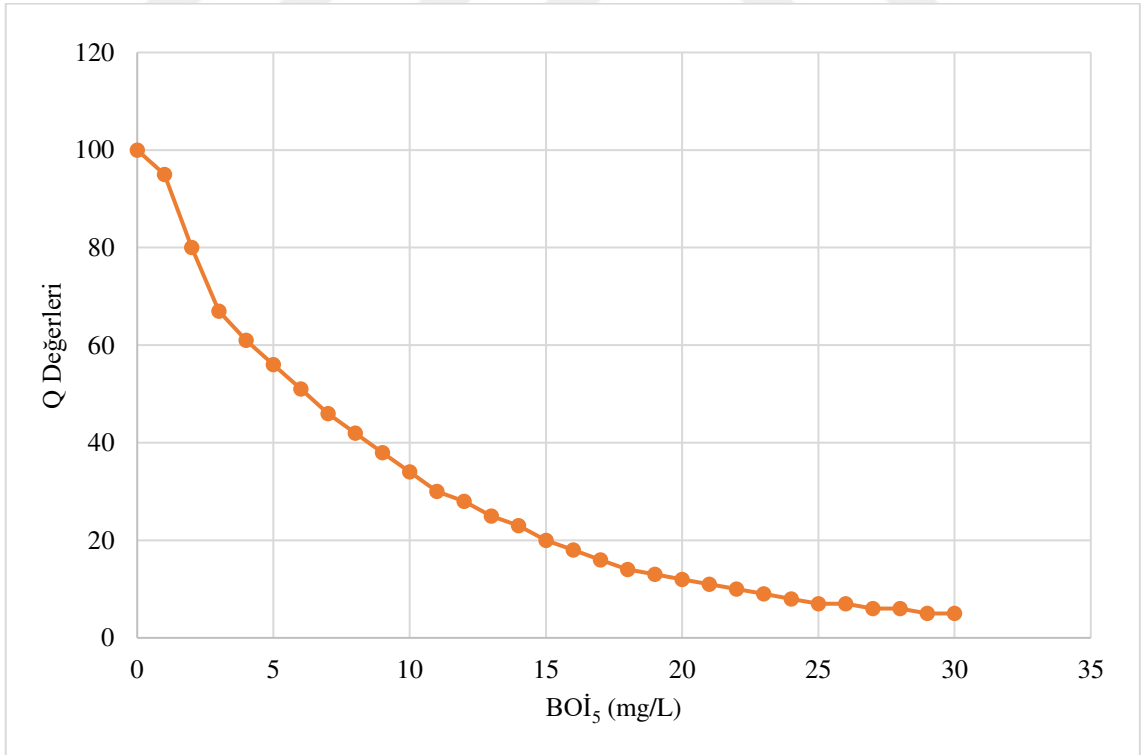
Şekil 2.1. Sıcaklık değişimi için Q değerleri



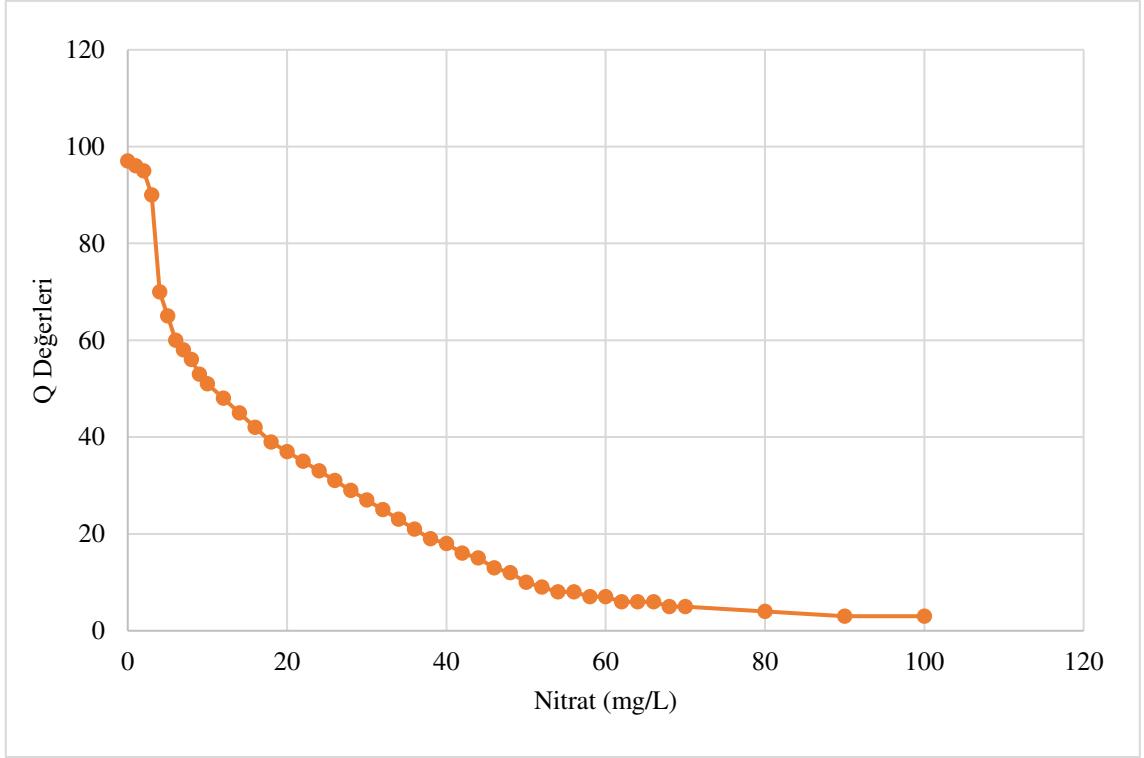
Şekil 2.2. pH için Q değerleri ($pH < 2$ ve $pH > 12$ olduğunda $Q=0$)



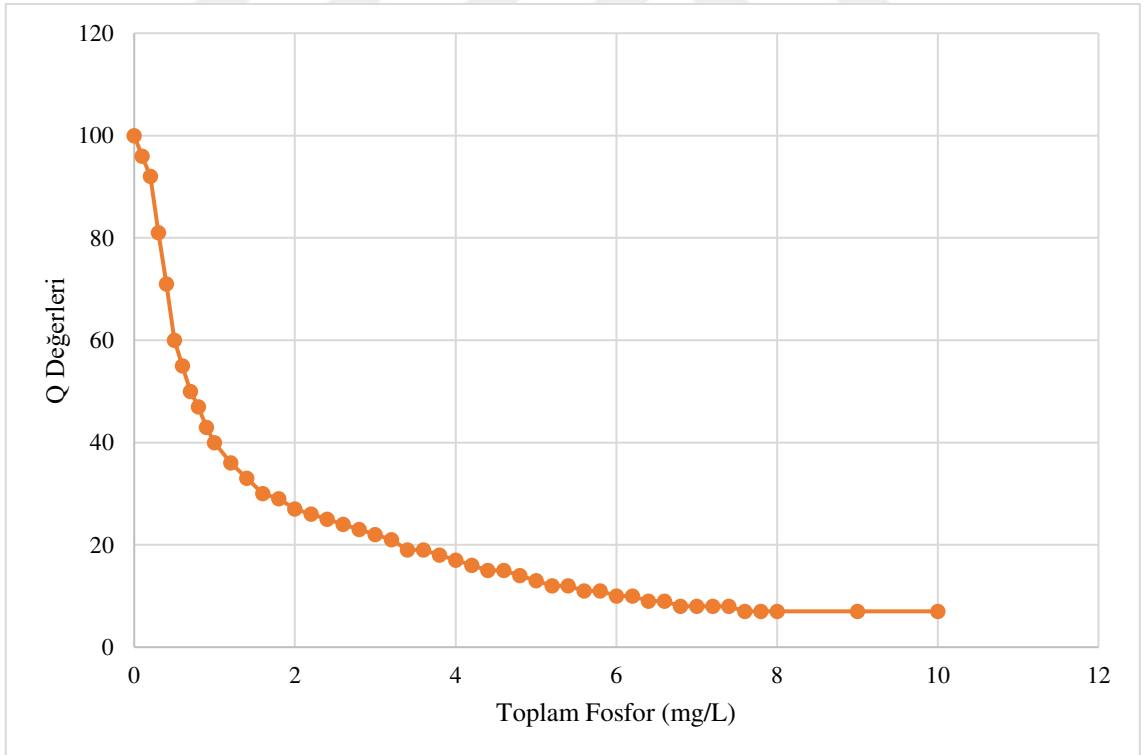
Şekil 2.3. Çözünmüş oksijen için Q değerleri (Ç.O.>%140 olduğunda $Q=50$)



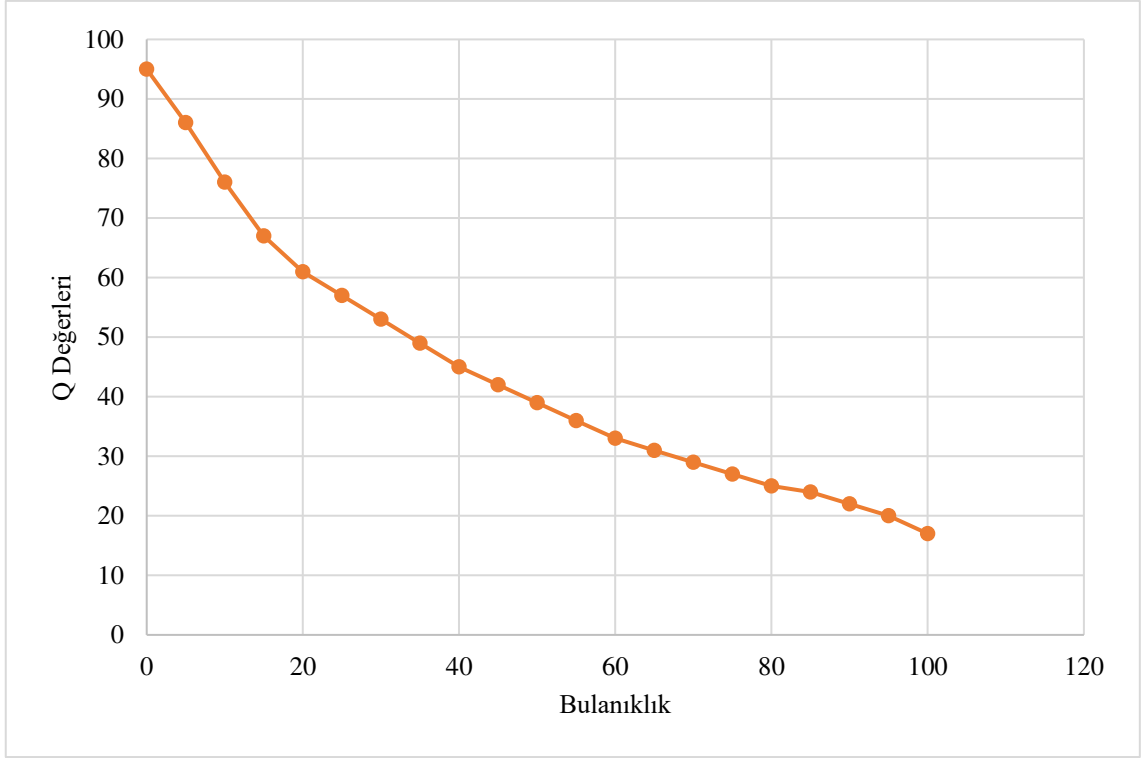
Şekil 2.4. BOI₅ için Q değerleri (BOI₅>30 olduğunda $Q=2$)



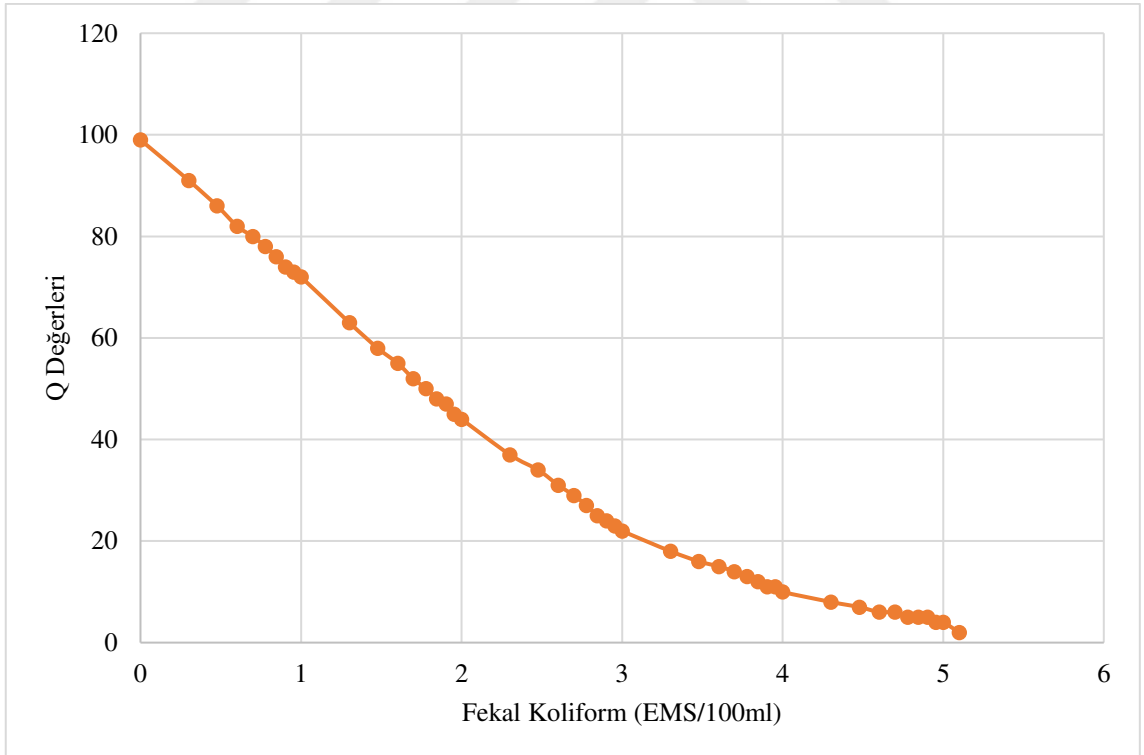
Şekil 2.5. Nitrat için Q değerleri (Nitrat > 100 mg/L olduğunda $Q=1$)



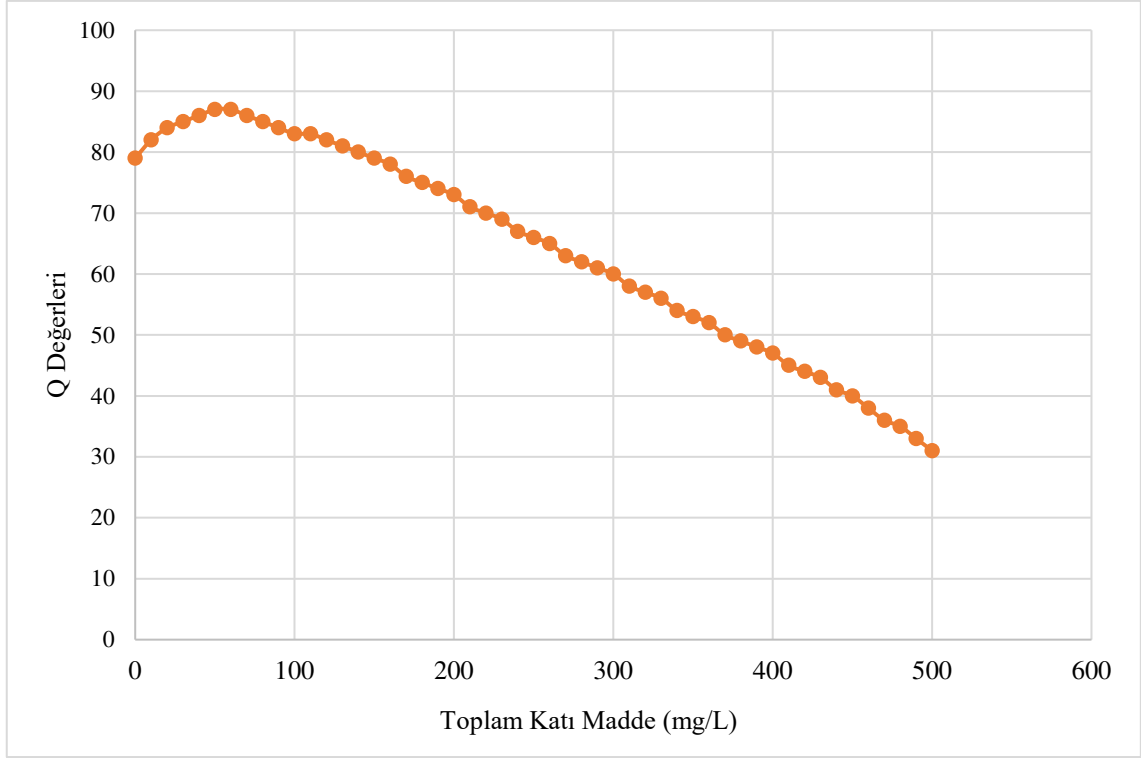
Şekil 2.6. Toplam fosfor için Q değerleri (Fosfor > 100 mg/L olduğunda $Q=2$)



Şekil 2.7. Bulanıklık için Q değerleri (Bulanıklık > 100 mg/L olduğunda $Q=5$)



Şekil 2.8. Fekal koliform için Q değerleri (Fekal koliform $> 100.000/100$ ml olduğunda $Q=2$)



Şekil 2.9. Toplam katı madde için Q değerleri ($TKM > 500$ mg/L olduğunda $Q=20$)

Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi için hesaplama formülü (2.4)’te verilmektedir.

$$NSFWQI = \sum_{i=1}^n Q_i \times W_i \quad (2.4)$$

Eşitlik 2.4’te; Q_i değerleri her bir parametrenin ölçüm değeri için grafikten okunan değerleri; W_i değerleri ise her bir parametrenin ağırlık faktörünü ifade eder. n ise denkleme dahil edilecek su kalitesi parametrelerinin sayısıdır (Ichwana, Syahrul ve Nelly, 2016; Bilgin, 2018). Bu formül kullanılarak elde edilecek su kalitesi değerleri, Çizelge 2.9’da yer alan kalite sınıflarına göre adlandırılır.

Çizelge 2.9. NSF-WQI yöntemi için su kalitesi değerleri ve kalite sınıfları (Taner, 2007)

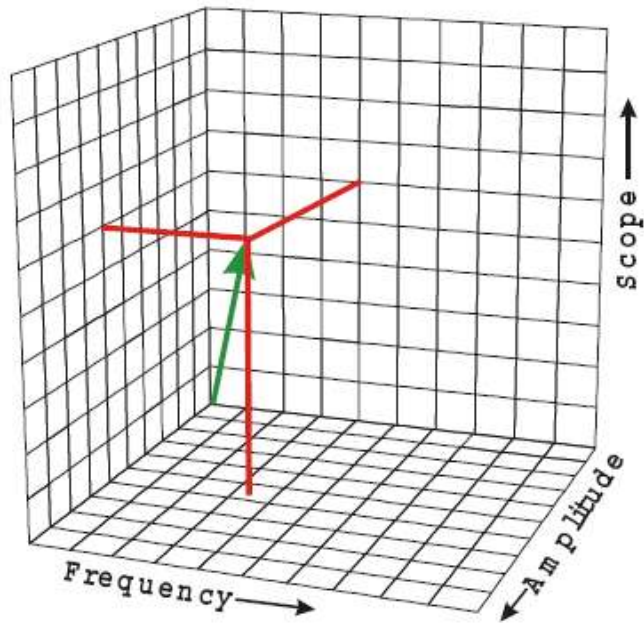
NSFWQI	Kalite Sınıfı
91-100	Mükemmel
71-90	İyi
51-70	Orta
26-50	Kirli
0-25	Çok Kirli

2.3.2. Kanada Su Kalite İndeksi (Canadian Water Quality Index)

Kanada Su Kalitesi İndeksi, Kanada Çevre Bakanlığı tarafından tüm Kanada’da, eyaletler arasında kullanılması amacıyla geliştirilmiştir. Literatürde Kanada Çevre Bakanları Meclisi (Canadian Council of Ministers of the Environment – CCME) indeksi olarak da yer almaktadır (Neary vd., 2001).

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 hesaplanabilir (Bilgin A. , 2018).

Modelin çalışmasında, Faktör 1 (kapsam: scope), Faktör 2 (frekans: frequency) ve Faktör 3 (genişlik: amplitude) birer vektör olarak kabul edilip nihai olarak bu üç vektörün bileşkesi hesaplanmaktadır (Şekil 2.10). Bu hesaplamanın sonucunda vektörel büyüklüğü skaler hale getiren formül Eşitlik 2.12’de verilmektedir.



Şekil 2.10. İndeksin hesaplama mantığını gösteren konsept (Neary vd., 2001)

İndeksin hesaplanmasında kullanılan üç faktör şunlardır (Neary vd., 2001):

- Faktör 1 (F_1): Kapsam (scope) olarak adlandırılır. Mevzuatta ya da yasal düzenlemede verilen limit değeri aşan (geçersiz) parametrelerin toplam

parametrelere göre yüzdesidir (2.5). 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.

$$F1 = \frac{\text{Başarısız parametre sayısı}}{\text{Toplam parametre sayısı}} \times 100 \quad (2.5)$$

- Faktör 2 (F₂): Frekans (frequency) olarak adlandırılır. Hangi parametre olduğuna bakılmaksızın, toplamda kaç deneyin kabul edilen sınır değerlerin altında ya da üzerinde olduğunun toplam deney sayısına göre yüzdesidir (2.6). Yukarıdaki örnekte, parametre özelinde düşünmeden, toplam on parametre için beşer deney yapılıyorsa elli deney içerisinde kaç sonucun yasal limitleri sağlamadığının göstergesidir.

$$F2 = \frac{\text{Başarısız deney sayısı}}{\text{Toplam deney sayısı}} \times 100 \quad (2.6)$$

- Faktör 3 (F₃): Genişlik (amplitude) olarak adlandırılır. Sınır değerlerin ne oranda saptığının miktarıdır. Üç aşamada hesaplanır:
 - İlk aşamada koşullu olarak üç duruma göre sapma değerleri hesaplanır:

- Parametre değeri, limit değerden fazla olamazsa Eşitlik 2.7'ye 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 hesaplanacaktır.

$$\text{sapma}_i = \left(\frac{\text{Başarısız deney değeri}_i}{\text{Hedef değeri}_i} \right) - 1 \quad (2.7)$$

- Parametre değeri, limit değerden az olamazsa Eşitlik 2.8'e 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 hesaplanacaktır.

$$\text{sapma}_i = \left(\frac{\text{Hedef değeri}_i}{\text{Başarısız deney değeri}_i} \right) - 1 \quad (2.8)$$

- Limit değer sıfır ise Eşitlik 2.9 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.

$$\text{sapma}_i = \text{Başarısız deney değeri}_i \quad (2.9)$$

- İkinci aşamada, ilk basamakta elde edilen sapma değerlerinin toplamının toplam deney sayısına (limit değerleri sağlayıp sağlamadığına bakılmaksızın) oranı hesaplanır (2.10). Bu değere normalleştirilmiş sapmalar toplamı (normalized sum of excursions – nse) denir.

$$nse = \frac{\sum_{i=1}^n sapma_i}{Toplam\ deney\ sayısı} \quad (2.10)$$

- Üçüncü aşamada ise, nse değerlerinin hedef değerlerden 0'dan 100 aralığında ölçeklendirilerek F_3 'ün hesaplanması sağlanır (2.11).

$$F_3 = \left(\frac{nse}{0,01nse+0,01} \right) \quad (2.11)$$

Nihai olarak, elde edilen F_1 , F_2 ve F_3 değerleri kullanılarak su kalitesi indeksinin hesaplanması sağlanır (2.12).

$$CWQI = 100 - \left[\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right] \quad (2.12)$$

Burada kullanılan 1,732 faktörü sayesinde elde edilecek sonucun 100 değerini aşmaması sağlanır (2.13).

$$\sqrt{100^2 + 100^2 + 100^2} = \sqrt{30000} = 173,2 \quad (2.14)$$

Elde edilen indeks skoru, Çizelge 2.10'a göre sınıflandırılarak su kalitesi belirlenir.

Çizelge 2.10. *CWQI yöntemi için su kalitesi değerleri ve kalite sınıfları (Neary vd., 2001)*

CWQI	Kalite Sınıfı
95-100	Mükemmel
80-94	İyi
65-79	Orta
45-64	Zayıf
0-44	Kötü

Kanada Su Kalitesi İndeksi, spesifik parametrelere ihtiyaç duymaması bakımından çok avantajlıdır. Hedef parametrelerin seçiminde büyük esneklik ve kolaylık sağlar. Farklı yasal mevzuatlarla ve sınırlamalarla (çok ütöpik değerler için bile) kullanılabilir. Dünya'nın pek çok farklı ülkesinde kullanılmaktadır. Ortaya koyduğu sonuçlar bakımından da çok anlaşılırdır. Diğer bir yandan, su kalitesinin belirlenmesinde bazen uygun parametrelerin seçilmemesi, kalitenin kısmen belirlenebilmesi, sonuçların indeks formülüne çok duyarlı olması, sınır değerler ya da parametre seçimiyle kolaylıkla manipüle edilebilirliği, yapılan çalışmaların yalnızca o lokasyonu temsil etmesi ve Dünya'daki diğer örneklerle kıyaslamada zorluk çıkarması, parametreler arasında önem

sıralaması yapmadan her birine eşit ağırlık vermesi gibi sebepler bu indeksin dezavantajlarıdır (Bilgin, 2018; Tyagi vd., 2013).

2.3.3. Oregon Su Kalite İndeksi (Oregon Water Quality Index)

Oregon Su Kalitesi İndeksi (OWQI), tanımlanmış bir su kalitesi parametresi setine ait değişkenleri analiz edilerek tek bir skor üretilmesini sağlayan istatistiksel bir araçtır (Tyagi vd., 2013). İlk olarak NSF-WQI'den sonra modellenmiştir. Her iki indekste de kullanılan parametreler Delphi metoduyla (uzmanlarla yapılan anketler sonucunda varılan fikir birliği sayesinde) seçilmiştir. Tıpkı NSF-WQI gibi, OWQI da logaritmik dönüşüm kullanarak su kalitesi parametreleri sonuçlarını alt-indis değerlerine dönüştürür. OWQI'nın geliştirilmesi sürecinde Delphi metodolojisi kullanılarak bir grup su kalitesi uzmanına çeşitli kalite parametrelerini seçmeleri ve her biri için bir ağırlık faktörü belirlemeleri istenmiştir. Gereksiz parametrelerin elenmesi sonucunda elde kalan son altı parametre (çözünmüş oksijen doygunluğu, BOİ, pH, toplam katı madde, amonyak + nitrat azotu ve fekal koliform) ve ağırlık faktörleri belirlenmiştir (Cude, 2001).

Günümüzde kullanılan geliştirilmiş indekse, Oregon eyaletinde bulunan akarsulara olan etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için çözünmüş oksijen derişimi, sıcaklık ve toplam fosfor parametreleri de eklenmiştir. Ayrıca ilk aşamada elle çizilerek hazırlanan alt indisler, lineer olmayan regresyonla formüllere dönüştürülmüştür. Alt indislerde en kötü senaryo için 10; en iyi senaryo için ise 100 puan verilmiştir (Dunnette, 1980; Cude, 2001).

İndeksin hesaplanmasında kullanılan parametreler sıcaklık, çözünmüş oksijen (yüzdece doygunluk ve derişim), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), pH, toplam katı madde, amonyak + nitrat azotu, toplam fosfor ve fekal koliformdur. Sayılan sekiz parametre, ağırlıklandırılmamış harmonik ortalama formülünde yazılarak indeks skoru oluşturulur (2.15).

$$WQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SI_i^2}}} \quad (2.15)$$

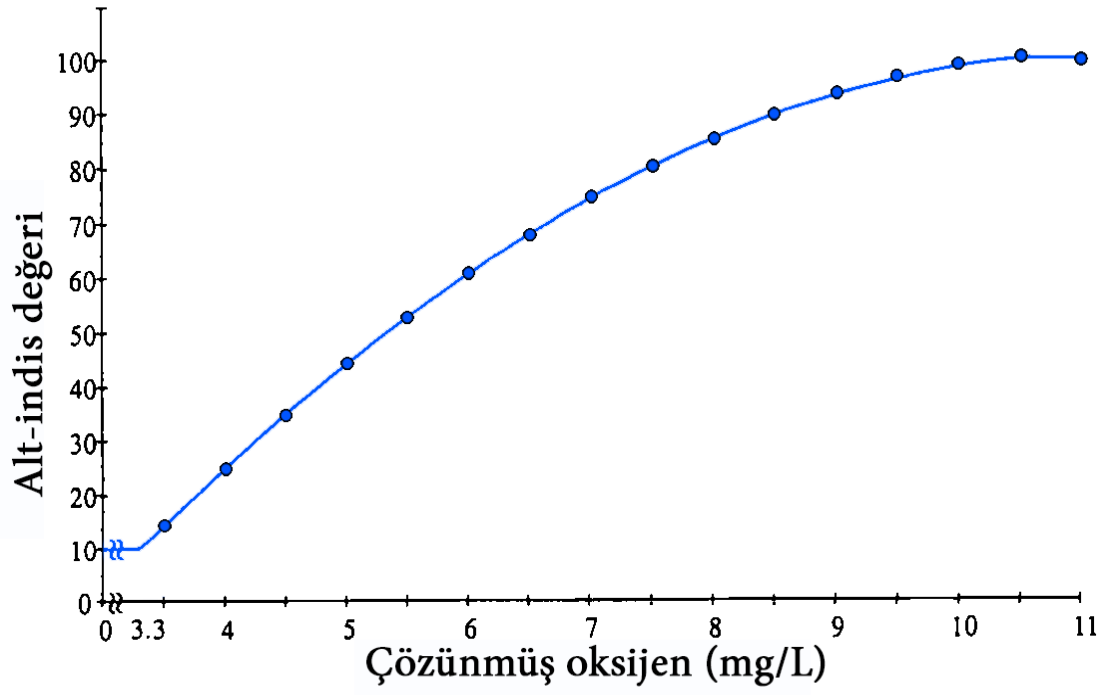
Bu ifadede; n değeri işleme dahil edilecek parametre sayısını, SI (subindex) değeri ise her bir parametrenin değerinin ilgili grafikte karşılık gelen değerleri ifade etmektedir

(Cude, 2001). Her bir parametreye ait alt indis değerleri Şekil 2.11-19’da verilmektedir. Burada parametreler bazında getirilen bazı özel durumlar mevcuttur. Bunlar řu şekilde listelenmektedir:

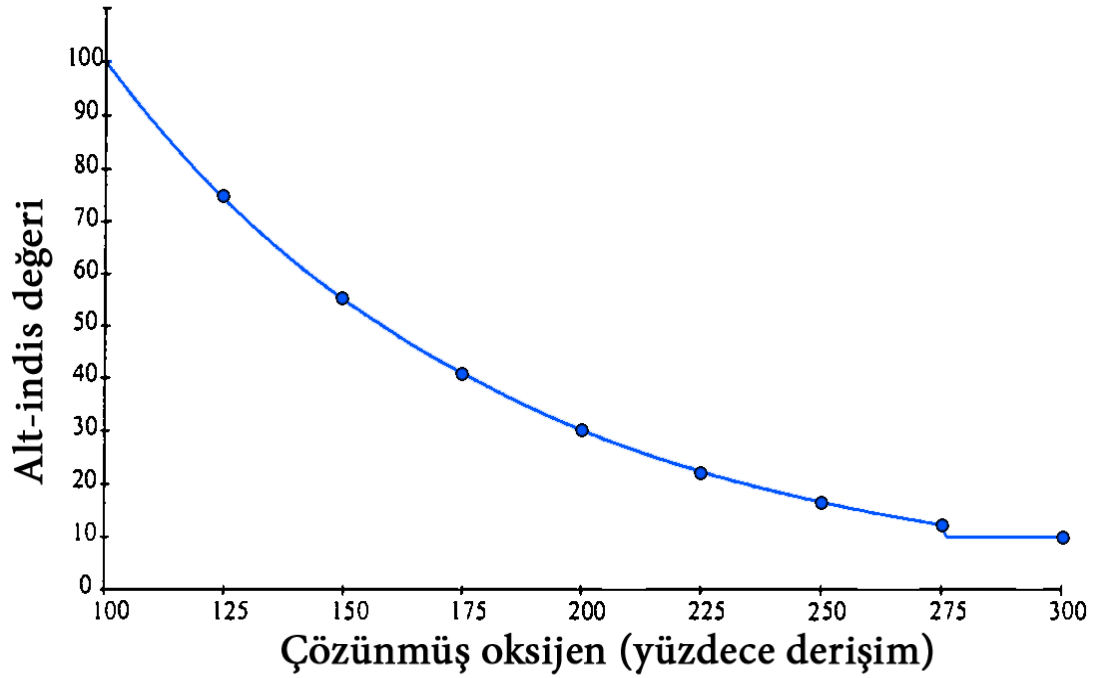
- Çözünmüş oksijen derişimi (ÇO): Birim olarak mg/L kullanılır. İlk geliştirilen indekste sadece çözünmüş oksijen doygunluğu (yüzdesi) yer alırken sonradan derişim de eklenmiştir. Eğer çözünmüş oksijen doygunluğu %100’den az ise alt indis hesaplaması çözünmüş oksijen derişimi baz alınarak yapılır. Eğer çözünmüş oksijen doygunluğu süper doygunluk (supersaturation) denilen durumda yani %100’den daha çok ise alt indis ÇO%’ye göre hesaplanır.
 - $\text{ÇO} \leq 3,3 \text{ mg/L}$ ise $\text{SI}_{\text{ÇO}} = 10$
 - $3,3 \text{ mg/L} \leq \text{ÇO} \leq 10,5 \text{ mg/L}$ ise $\text{SI}_{\text{ÇO}}$ Şekil 2.11’den okunur.
 - $10,5 \text{ mg/L} \leq \text{ÇO}$ ise $\text{SI}_{\text{ÇO}} = 100$
- Çözünmüş oksijen yüzdesi (ÇO%): Birimi % (yüzde) olarak verilir.
 - $\text{ÇO}\% \leq \%100$ ise ÇO değerine bakılır.
 - $\%100 \leq \text{ÇO}\% \leq \%275$ ise $\text{SI}_{\text{ÇO}\%}$ Şekil 2.12’den okunur.
 - $\%275 \leq \text{ÇO}\%$ ise $\text{SI}_{\text{ÇO}\%} = 10$
- Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅): Birim olarak mg/L kullanılır.
 - $\text{BOİ}_5 \leq 8 \text{ mg/L}$ ise $\text{SI}_{\text{BOİ}_5}$ Şekil 2.13’ten okunur.
 - $8 \text{ mg/L} < \text{BOİ}_5$ ise $\text{SI}_{\text{BOİ}_5} = 10$
- Sıcaklık (T): Birim olarak °C kullanılır. Bu parametreye ait alt indis geliştirilirken ilk olarak soğuk su balıkçılığını korumak esas alınmıştır.
 - $T \leq 11 \text{ }^\circ\text{C}$ ise $\text{SI}_T = 100$
 - $11 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 29 \text{ }^\circ\text{C}$ ise SI_T Şekil 2.16’dan okunur.
 - $29 \text{ }^\circ\text{C} < T$ ise $\text{SI}_T = 10$
- pH:
 - $\text{pH} < 4$ ise $\text{SI}_{\text{pH}} = 10$
 - $4 \leq \text{pH} < 7$ ise SI_{pH} Şekil 2.18’den okunur.
 - $7 \leq \text{pH} \leq 8$ ise $\text{SI}_{\text{pH}} = 100$
 - $8 < \text{pH} \leq 11$ ise SI_{pH} Şekil 2.18’den okunur.
 - $11 < \text{pH}$ ise $\text{SI}_{\text{pH}} = 10$
- Toplam katı madde derişimi (TKM): Birim olarak mg/L kullanılır. Bu parametreye ait alt-indis değerleri Oregon Eyaleti’nde bulunan havzalara göre

farklı değerler almaktadır (Cude, 2001). Bu sebepten dolayı Willamette, Sandy ve Hood havzalarına ait alt-indis değerleri verilmektedir.

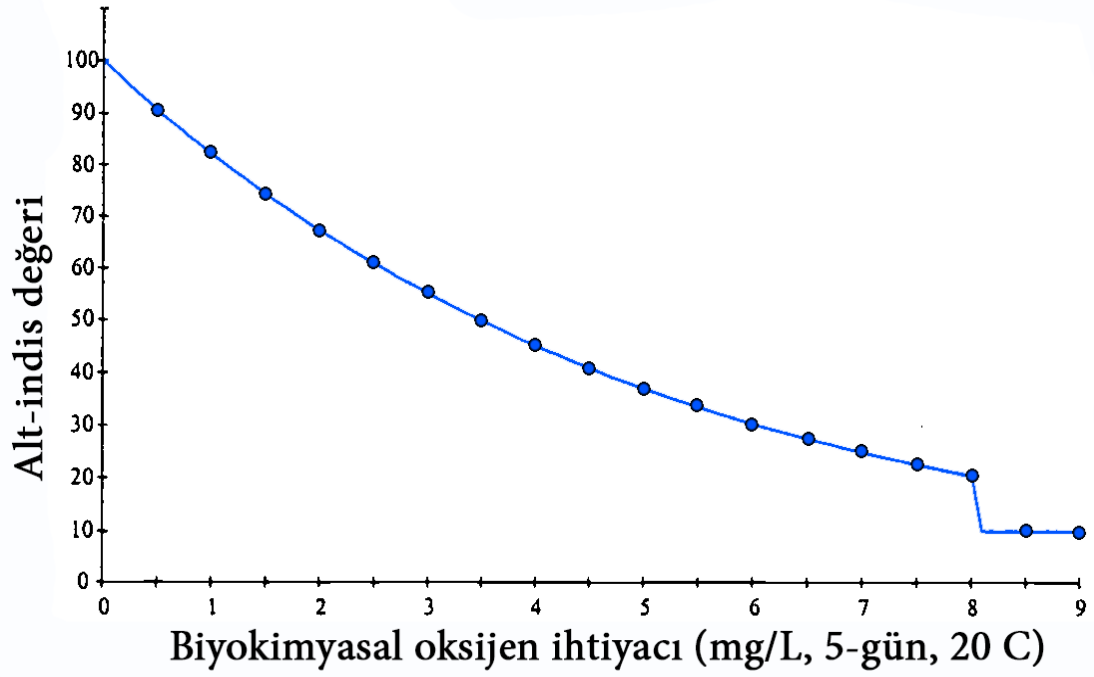
- $TKM \leq 40 \text{ mg/L}$ ise $SI_{TKM} = 100$
- $40 \text{ mg/L} < TKM \leq 280 \text{ mg/L}$ ise SI_{TKM} Şekil 2.17’den okunur.
- $280 \text{ mg/L} < TKM$ ise $SI_{TKM} = 10$
- Amonyak + Nitrat azotu (N): Birim olarak mg/L kullanılır. Amonyak ve nitrat azotu derişimlerinin toplamı dikkate alınır. Diğer azot türlerine kıyasla amonyak ve nitratın seçilmesinin nedeni bu iki parametrenin ötrofikasyon ve oksijen tüketimi hakkında fikir verebilmesidir.
 - $N \leq 3 \text{ mg/L}$ ise SI_N Şekil 2.14’ten okunur.
 - $3 \text{ mg/L} < N$ ise $SI_N = 10$
- Toplam fosfor (TF): Birim olarak mg/L kullanılır. İlk modellenen indekste bu parametre yoktur. Ancak Oregon eyaleti akarsularında alg büyümesinin sınırlandırıcı elementin fosfor olduğunun belirlenmesinin ardından, geliştirilen indekse dahil edilmiştir.
 - $TF \leq 0,25 \text{ mg/L}$ ise SI_{TF} Şekil 2.15’ten okunur.
 - $0,25 \text{ mg/L} < TF$ ise $SI_{TF} = 10$
- Fekal koliform (FK): Birim olarak sayı/100 mL kullanılır. 100 mL’de 50’den az ise 98 alt indis olarak 98 puan seçilir. Bu değerin 100 yerine 98 seçilmesi, söz konusu bakteriler olduğunda sayım işleminin hiçbir zaman kesin olmaması nedeniyledir.
 - $FK \leq 50$ ise $SI_{FK} = 98$
 - $50 \leq FK \leq 1600$ ise SI_{FK} Şekil 2.19’dan okunur.
 - $1600 \leq FK$ ise $SI_{FK} = 10$



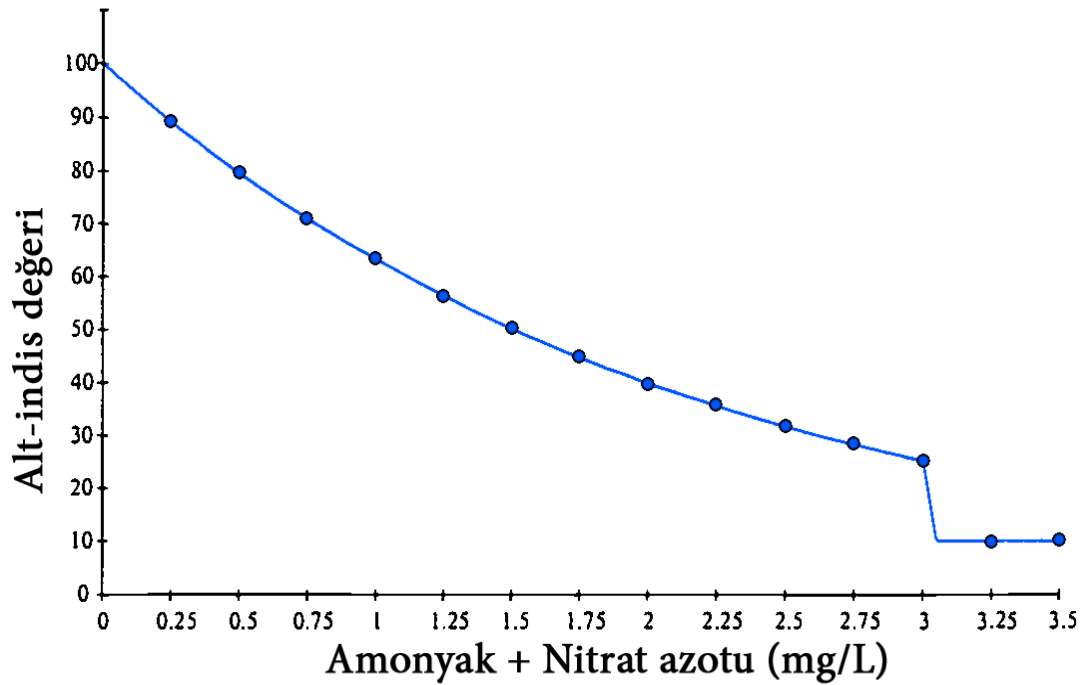
Şekil 2.11. Çözünmüş oksijen derişimi için alt-indis değeri (Cude, 2001)



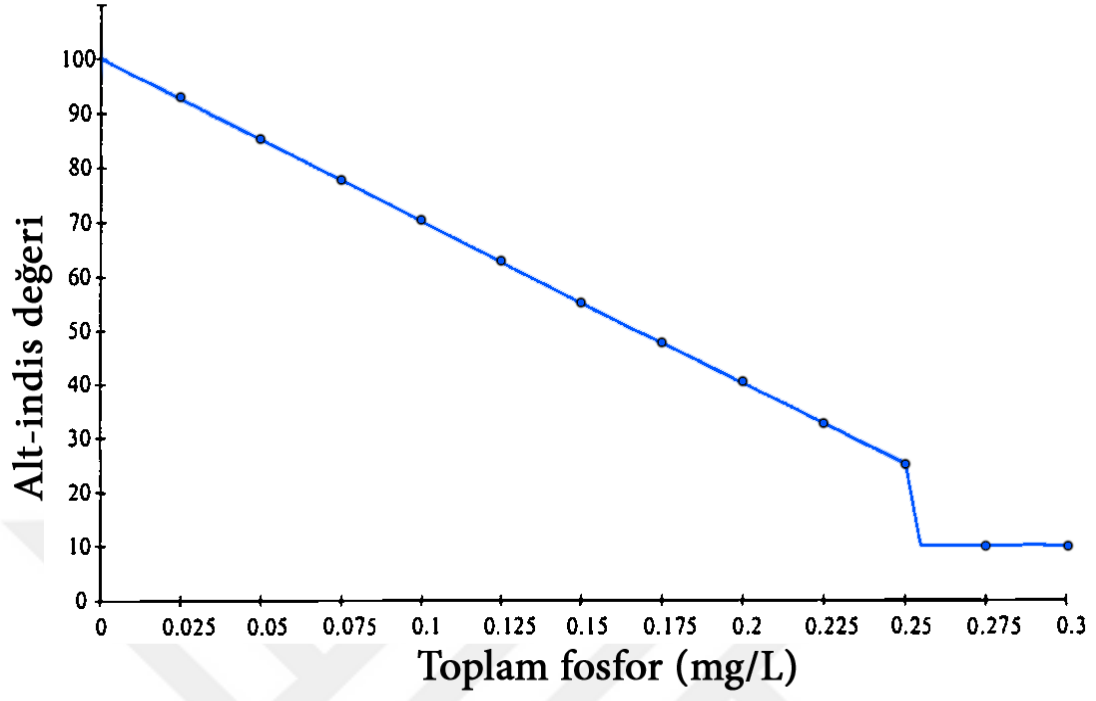
Şekil 2.12. Çözünmüş oksijen doygunluğu için alt-indis değeri (Cude, 2001)



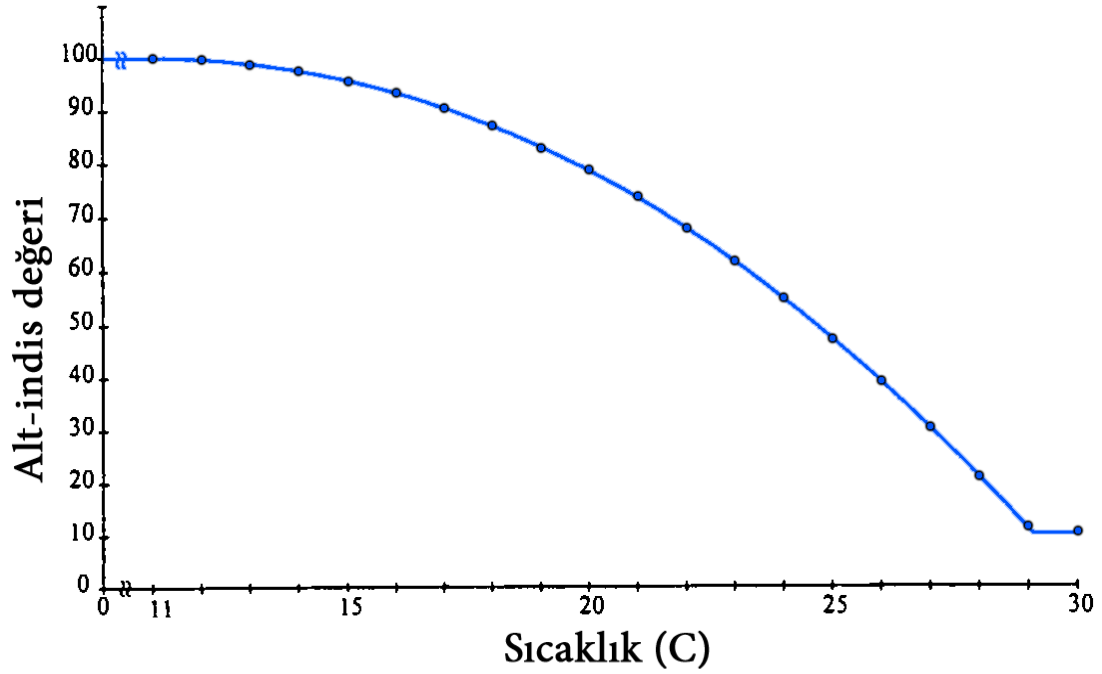
Şekil 2.13. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅) için alt-indis değeri (Cude, 2001)



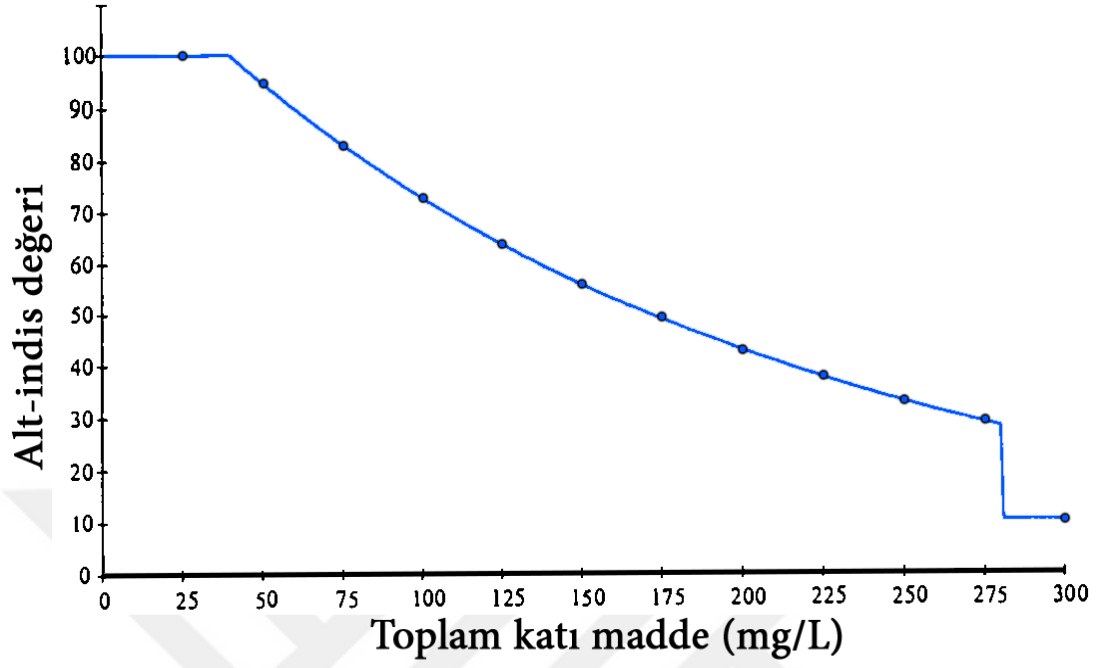
Şekil 2.14. Amonyak + Nitrat azotu için alt-indis değeri (Cude, 2001)



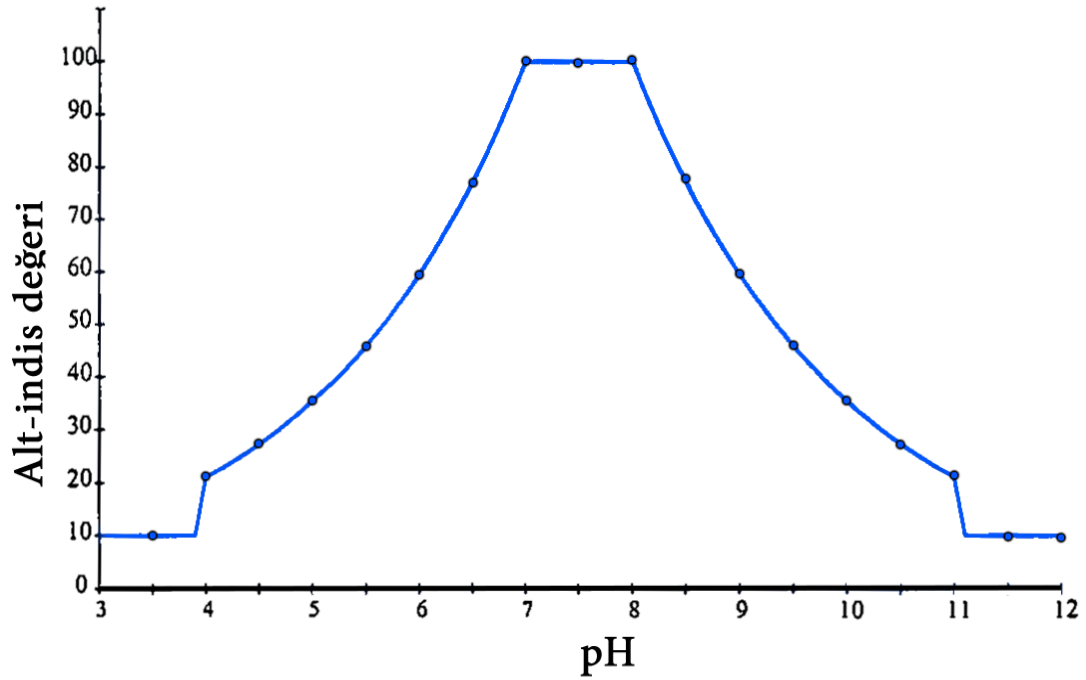
Şekil 2.15. Toplam fosfor için alt-indis değeri (Cude, 2001)



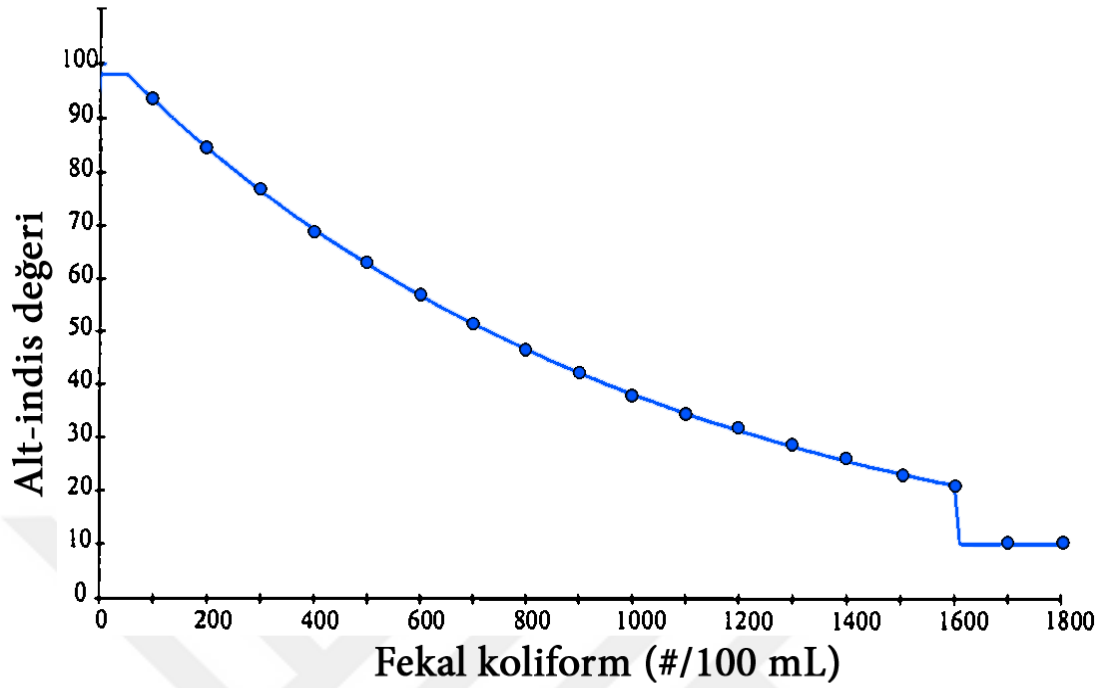
Şekil 2.16. Sıcaklık için alt-indis değeri (Cude, 2001)



Şekil 2.17. Toplam katı madde için alt-indis değeri (Cude, 2001)



Şekil 2.18. pH için alt-indis değeri (Cude, 2001)



Şekil 2.19. Fekal koliform için alt-indis değeri (Cude, 2001)

Hesaplanan indeks skoru, Çizelge 2.11’de verilen aralıklara göre kalite sınıflarına ayrılmaktadır.

Çizelge 2.11. OWQI yöntemi için su kalitesi değerleri ve kalite sınıfları (Tyagi vd., 2013)

OWQI Değeri	Kalite Sınıfı
90-100	Mükemmel
85-89	İyi
80-84	Orta
60-79	Zayıf
0-59	Çok Zayıf

2.3.4. Kullanılan Su Kalitesi İndekslerinin Karşılaştırılması

Çalışmada kullanılan üç su kalitesi indeksi avantaj ve dezavantajları bakımından karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, su kalitesi parametrelerinin geliştirilmesi, incelenmesi ve uygulanması bakımından önemli literatür çalışmalarından söz konusu indekslerin kullanım avantajları ve dezavantajları derlenmiştir (Tyagi vd., 2013; Sutadian vd., 2016; Tunç Dede, Telci ve Aral, 2013; Sarıdoğan, 2019).

Çizelge 2.12. NSF-WQI'in değerlendirilmesi

Avantajları	Dezavantajları
Tüm verileri objektif, hızlı ve yinelenebilir bir yol izleyerek tek bir indeks değeri altında özetler.	Genel su kalitesini gösterir, suyun özel kullanım alanlarını göstermez
Çeşitli sahalar arasında değerlendirme yapar ve su kalitesindeki değişimi tanımlar	Veri işleme sürecinde veri kaybı oluşur
Potansiyel su kullanım amaçlarını belirlemek için bir indeks değeri üretir	Karmaşık çevresel problemlerin yönetiminde belirsizlikle ve özellikle başa çıkmada yetersiz kalabilir.
Sektör dışı (konuya uzak) kişilerin de su kalitesi hakkında fikri olmasını sağlar	Belirli parametreler için geliştirilmiş alt-indisler kullandığı için özel bir veri setine ihtiyaç duyar.

Çizelge 2.12'de NSF-WQI'nin kullanım avantajları ve dezavantajları yer almaktadır. NSF-WQI'in en büyük avantajı, elde edilen sonuçların indeksin sahip olduğu alt-indisler sayesinde, Dünya'nın başka bir bölgesinde yapılan sonuçlarla daha kolay kıyaslanabilmesidir. Ancak hesaplamada istenilen parametrelerden bir ya da birkaçının eksik olması durumunda her bir parametreye ait ağırlık değeri yeniden düzenlenerek mevcut parametrelere dağıtılmalıdır.

Çizelge 2.13. CWQI'in değerlendirilmesi

Avantajları	Dezavantajları
Çok çeşitli değişkenlere ait ölçüm değerlerini tek bir sayıya indirger.	Tek bir değişken kullanıldığında veri kaybı yaşanır.
Giriş parametreleri ve hedef değerler için müthiş esnek bir yapıdadır.	Her bir konuma özgü hedef değerler ve özel su kullanımı hakkında veri kaybına yol açar.
Farklı yasal limitler ve su kullanımları için kullanılabilir.	Parametreler arasındaki etkileşimleri tam olarak yansıtmaz.
Çok değişkenli karmaşık veriyi istatistiksel olarak basitleştirir.	Farklı ekosistem türleri için uyarlanabilirliği zayıftır.
Karar vericiler ve kamu için su kalitesi hakkında açık ve anlaşılır bir durum tespiti yapar.	Parametre seçimine bağlı olarak manipüle edilebilirliği çok yüksektir.

Çizelge 2.13 (Devam). CWQI'in değerlendirilmesi

Avantajları	Dezavantajları
Özel bir lokasyon için bile su kalitesinin belirlenmesinde kullanılabilir.	Tüm parametreler aynı önem değerini verir.
Hesaplama süreci kolaydır.	Diğer indikatörler ya da biyolojik verilerle bir kombinasyon sağlanamaz.
Eksik veri tolere edilebilir.	Su kalitesinin kısmı teşhisi yapılabilir.
Otomatik örnekleme sonucu elde edilen verilerin analizi için kullanılabilir.	İndeksin hesaplanmasında kullanılan F1 değeri, çok az sayıda değişkenle çalışıldığı zaman veya verilerin arasında çok fazla kovaryans bulunduğu uygun şekilde çalışamaz.
Birbirinden farklı birimlere sahip farklı ölçüm değerlerini tek bir değer altında birleştirir.	İndeksin aynı parametrelerle uygulansa bile farklı coğrafyalarda limit değerlerin farklı olması yüzünden aynı sonuçlar elde edilemez.
Çalışmak için alt-indislere ya da özel veri setlerine ihtiyaç duymaz.	Sabit bir alt-indis ataması yapılmadığından parametre bazında farklı çalışmalarda farklı değerler elde edilebilir.

Çizelge 2.13'te CWQI'nin kullanım avantajları ve dezavantajları yer almaktadır. CWQI, özel bir parametre setine tabi olmadığı için hesaplamalarda asgari olarak dört parametreye ait dörder ölçümle bile kalite sınıflandırması yapılabilmektedir. Bu indeksin en büyük dezavantajı, yapılan çalışmanın yalnızca yapıldığı bölgeye/ülkeye ait yasal limitler göz önüne alınarak kategorize edilmesidir. Örneğin aynı bölgede yapılan bir çalışma farklı yasal/teknik limitler göz önüne alınıp aynı parametreler kullanılarak yapılsa bile limit değerlerin farklı olmasından dolayı farklı sonuçlar elde edilecektir. Diğer bir yandan bu indeks, alt indislerden bağımsız olduğu için hesaplama açısından bağımsızdır.

Çizelge 2.14. OWQI'nin değerlendirilmesi

Avantajları	Dezavantajları
Alt indisleri birleştirirken kullanılan ağırlıklandırılmamış harmonik kare ortalama formülü, veri setinde en çok etkilenen parametrenin su kalitesi indeksi üzerinde en büyük etkiye sahip olmasını sağlar.	Kullandığı parametreler sebebiyle sudaki toksik derişimleri, habitatı ya da biyolojik değışiklikleri dikkate almaz.
Farklı parametreler, farklı zamanlarda ve lokasyonlarda genel su kalitesinde farklı etkilere yol açar.	Su kalitesi durumu hakkında mevcut çalışma ortamının dışındaki bir nokta hakkında çıkarım yapmak mümkün değildir.
İndeks formülü değışen koşullarda ve su kalitesi üzerinde önemli değışimlere karşı hassastır.	Spesifik kullanımlar için su kalitesini belirleyemez ve uygun fiziksel, kimyasal ve biyolojik verileri dikkate almadan su kalitesi hakkında kesin bilgi sağlamak için kullanılamaz.
Bazı alt indisler lokasyona bağlı seçilerek daha doğru sonuç üretmeye yarar.	Sağlık açısından riskli bazı parametreleri (toksikler, bakteriler, metaller, vb.) değerlendiremez
	Belirli parametreler için geliştirilmiş alt-indisler kullandığı için özel bir veri setine ihtiyaç duyar.

Çizelge 2.14'te OWQI'nin kullanım avantajları ve dezavantajları yer almaktadır. OWQI, tıpkı NSF-WQI gibi alt indislere ve özel parametre setlerine bağımlı olarak hesaplanan bir indekstir. Ancak parametrelere bir önem sırası (ağırlık) verilmemiştir. OWQI'de toplam katı madde derişimi parametresi için Oregon Eyaleti'nde yer alan havzalara özel değerler geliştirmiştir. Dolayısıyla bu indeksi Dünya'nın başka bir bölgesinde uygulamak için bu parametrenin dikkate alınmaması daha uygun olacaktır. İndeksin en büyük dezavantajı budur. Eksik parametreler için ise yeniden ağırlıklandırma yapılmasına gerek yoktur.

Kachroud vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, Dünya'da kullanılan en popüler su kalitesi indeksleri derlenerek bu indekslerin hesaplama mekanizmalarına ve birbirlerine göre avantaj/dezavantajlarına değinilmiştir. Bu kapsamda; 9 parametre kullanarak sonuca ulaşan NSF-WQI'nin ağırlıklı geometrik ortalama formülüyle, en az

4, en çok 47 farklı parametre kullanabilen CWQI'in harmonik karelerin toplamı formülüyle, 8 parametre kullanılarak hesaplanabilen OWQI'in ise ağırlıksız harmonik karelerin ortalaması formülüyle hesaplama yaptığı belirtilmektedir.

2.3.5. Ulusal Mevzuat

Türkiye’de su kirliliğinin önlenmesi ve sulardaki kirletici parametrelerin sahip olması gereken limit değerlere yönelik en önemli düzenleme 2872 sayılı Çevre Kanunu’dur. Bu Kanun’un 20. Maddesinin 1 bendinin altıncı paragrafında *“Bu Kanun ve bu Kanun uyarınca çıkarılan yönetmeliklere aykırı olarak ülkenin egemenlik alanındaki denizlere ve yargılama yetkisine tâbi olan deniz yetki alanlarına, içme ve kullanma suyu sağlama amacına yönelik olmayan sulara atık boşaltanlara 24.000 Türk Lirası (2021 yılı için: 96.561 TL) idarî para cezası verilir.”* hükmü mevcuttur.

Çevre Kanunu’na bağlı olarak çıkartılıp 31.12.2004 tarihli ve 25687 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’nde ise farklı sektörler için alıcı ortama deşarj standartları verilmektedir. Ayrıca bu yönetmelikte “Tablo 1 - Kıtaîçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri” verilmekte olup dört adet kalite sınıfı için toplam 45 parametrenin (dört kategoriye ayrılmış olarak) limit değerleri verilmektedir.

Yüzeysel suların korunmasına yönelik olarak çıkartılıp 30.11.2012 tarihli ve 28483 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren bir diğer önemli mevzuat çalışması ise Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği’dir. Eski ismi “Yüzeysel Su Kalitesi Yönetmeliği” olan bu yönetmelikte, Ek-5’te yer alan “Tablo 2: Kıtaîçi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizikokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri” tablosunda, dört su kalite grubu için parametreler bazında limit değerler verilmektedir. Ayrıca her bir su kalitesi grubunun kullanım amacı belirtilmektedir.

Tarım faaliyetlerinden kaynaklanan nitratin sularda neden olduğu kirlenmenin kontrolü amacıyla çıkartılıp 23.07.2016 tarihli ve 29779 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği’nde yer altı ve yer üstü sularında tarımsal faaliyetler sonucunda açığa çıkarak kirliliğe neden olan azot ve azot bileşiklerinin belirlenmesi ve kirliliğin önlenmesi ile ilgili teknik ve idari esaslar yer almaktadır. Yönetmelikte, 50 mg/l den fazla

nitrat içeren ve önlem alınmadığı takdirde belirlenen sınır değerinde nitrat içerebilecek olan tüm yer üstü ve yer altı suların tespit edilerek “Nitrata Karşı Hassas Alan” olarak belirlenmesi ve bu alanların dört yılda bir yeniden kontrol edilerek güncellenmesi gerektiği ifade edilmektedir.

Türkiye’de yerleşim yerlerinde oluşan evsel/kentsel nitelikli atıksuların toplanması, arıtılması ve deşarjının olumsuz etkilerine karşı çevreyi korumak amacıyla çıkartılarak 08.01.2006 tarihli ve 26047 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği’nde, hassas alanlar *“ötrofik olduğu belirlenen veya gerekli önlemler alınmazsa yakın gelecekte ötrofik hale gelebilecek doğal tatlı su gölleri, diğer tatlı su kaynakları, haliçler ve kıyı suları, önlem alınmaması halinde yüksek nitrat konsantrasyonları içerebilecek içme suyu temini amaçlanan yüzeysel tatlı sular ve daha ileri arıtma gerektiren alanları”* olarak tanımlanmıştır. Yönetmelik kapsamında, 10.000 eş değer nüfus ve üzerine sahip yerleşim yerlerinden oluşan atıksulardan, hassas alanlara yapılacak tüm deşarjların yönetmeliğin Tablo 1 ve Tablo 2’inde belirtilen ileri arıtım deşarj standartlarına uyması gereklidir.

Yukarıda bahsedilen yönetmeliklerin yanı sıra, Türk Standartları Enstitüsü tarafından 29.04.2005 tarihinde yayımlanan ve insani tüketim amacıyla kullanılması düşünülen su kaynaklarının sağlaması gereken kalite standartlarını içeren “TS 266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Kalite Standardı” mevcuttur. Bu standardın içerdiği değerler Avrupa Birliği 98/83/EC İçme Suyu Direktifi, Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water (1985), Dünya Sağlık Örgütü İçme Suyu Kalite Standartları ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği’nde yer alan çeşitli parametrelerden derlenmiştir (Türk Standartları Enstitüsü, 2005).

Avrupa Birliği’nin su yönetimi konusunda yayımlanmış olduğu en önemli direktif 23.10.2000 tarihli ve 2000/60/EC sayılı Su Çerçeve Direktifi’dir. Bu düzenlemeyle birlikte, nehir ve havza yönetimi kavramlarını tanımlanmış ayrıca, uygulamada kullanılacak yöntemler belirlenmiştir. Bu direktifin en önemli hedefleri arasında yer alan suların “iyi ekolojik ve kimyasal duruma gelmesi” için gerekli çalışmalar, “nehir havza bölgelerinin karakterizasyonu” çalışmalarıyla tanımlanmaktadır (Abay, 2008).

Türkiye’de halen su kirliliğini önlemek, su kalitesini belirlemek ve korumak, su yönetimi konusunda yapılacak çalışmaların aşamalarını belirlemek ve suyla ilgili diğer yasal düzenlemeleri içeren mevzuatlar Çizelge 2.15’te yer almaktadır.

Çizelge 2.15. *Türkiye’de yürürlükte olan su mevzuatı*

Kanun/Yönetmelik Tebliğ/Düzenleme Adı	/ Yayın/Yürürlük Tarihi (Resmî Gazete tarihi – sayısı)	Önemli Tablolar
2872 sayılı Çevre Kanunu		
Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği	31.12.2004 - 25687	Tablo 1- Kıtaiçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri
Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği	30.11.2012 - 28483	Ek-5 Yerüstü Su Kütlelerinde Bazı Parametreler İçin Çevresel Kalite Standartları ve Kullanım Maksatları
Hassas Su Kütleleri ile Bu Kütleleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkında Yönetmelik	23.12.2016 - 29927 Mükerrer	
Yerüstü Su Kütleleri İçin Çevresel Hedeflerin Belirlenmesine İlişkin Tebliğ	21.07.2020 - 31192	
Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği	10.10.2009 - 27372	Tablo 1.a. Endüstriyel Nitelikli Atıksular Numune Alma Sıklığı Tablo 1.b. Kentsel - Evsel Nitelikli Atıksular Numune Alma Sıklığı
Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik	11.02.2014 - 28910	Ek-1 Yüzeysel Sularda İzlenmesi Gereken Kalite Elementleri
İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik	06.07.2019 - 30823	Ek-1 Kategorilere Göre Su Kalite Standartları

Çizelge 2.15 (Devam). *Türkiye’de yürürlükte olan su mevzuatı*

Kanun/Yönetmelik Tebliğ/Düzenleme Adı	/ Yayın/Yürürlük Tarihi (Resmî Gazete tarihi – sayısı)	Önemli Tablolar
Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği	23.07.2016 - 29779	
Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik	07.04.2012 - 28257	
Yer Üstü Suları, Yer Altı Suları ve Sedimentten Numune Alma ve Biyolojik Örnekleme Tebliği	21.02.2015 - 29274	
İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik	17.02.2005 - 25730	Ek-1 Parametreler ve Sınır Değerleri
Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği İdari Usuller Tebliği	10.10.2009 - 27372	Tablo 1.a. Endüstriyel Nitelikli Atıksular İçin Numune Alma Sıklığı Tablo 1.b. Kentsel - Evsel Nitelikli Atıksular İçin Numune Alma Sıklığı
TS 266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular	29.04.2005	TSE
	29.04.2006	

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Çalışma Alanı ve Özellikleri

Sakarya Nehri Havzası, Türkiye’de yer alan 25 havzadan biridir. Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %8’ini kaplar ve 63.379 km² yağış alanına sahiptir (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, 2013; Özer ve Köklü, 2019). Dört coğrafi bölgeye (Marmara, Ege, Karadeniz ve İç Anadolu Bölgeleri) yayılmış halde olan havzanın kuzeyinde Bolu Dağları (2.499 m), doğusunda İdris Dağı (1.992 m), Elmadağ (1.761 m) ve Haymana Platosu, güneyinde Emir Dağı (2.307 m), Murat Dağı (2.309 m), Bayat ve Cihanbeyli Platoları, batısında ise Domaniç Dağı (1.845 m) ve Uludağ (2.543 m) yer almaktadır (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, 2013). Havza sınırları içerisinde doğarak Karadeniz’e ulaşan ana kol Sakarya Nehri’nin toplam uzunluğu ise yaklaşık 824 km’dir (http-06). Nehir, Eskişehir’in güneyinde Çifteler ilçesinde Sakaryabaşı mevkiinden beş farklı noktadan doğarak Bardakçı Suyu, Seydisuyu Deresi ve Sarısu Deresi’yle birleşerek Eskişehir-Ankara il sınırlarını oluşturur. Daha sonra Porsuk Çayı’yla birleşerek kuzeye yönelir ve Ankara Çayı, Karasu Çayı, Göksu Çayı, Çarksuyu ve Mudurnu Deresi yan kollarıyla ve mevsimsel akışlı derelerle beslenerek Sakarya ilinin Karasu ilçesi sınırlarından Karadeniz’e dökülür (Selki, 2008; Yaykiran, 2016; Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, 2013).

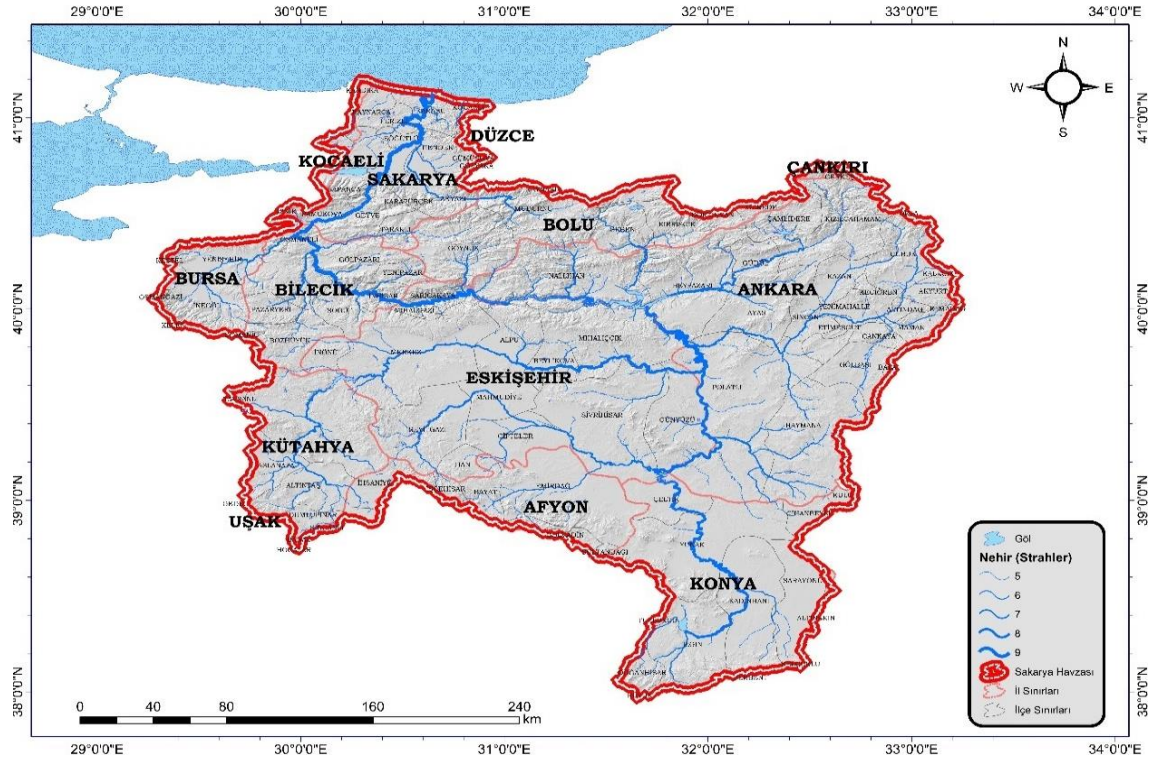
Havza alanı içerisinde kalan ve önemli bir kaynak olan Seydisuyu Deresi, Eskişehir ilinin Seyitgazi ilçesi sınırlarında yer alan Kırka Mahallesi civarında bulunan derelerin birleşmesiyle oluşur ana kola ulaşana kadar yaklaşık 107 km ve ortalama 38 m³/saniye debiye ulaşır. Ancak özellikle yaz aylarında sulamanın etkisiyle bu derede akış durmaktadır (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, 2013).

Murat Dağı’nın kuzey yamaçlarından inen Kızıлтаş Deresi ile Ahır Dağı’nın kuzey yamaçlarından çıkan Bayatçık Deresi birleşerek Porsuk Çayı adını alır ve bu akarsu Kütahya ili sınırlarından kuzeye doğru ilerleyerek Felent Çayı’yla birleşir ve Eskişehir girişindeki Porsuk Barajı’na ulaşır. Eskişehir il sınırları içerisinde irili ufaklı akarsularla beslenen nehir, batıdan doğuya doğru ilerleyerek yaklaşık 448 km. uzunluğa ve 11.188 km²’lik drenaj alanına ulaşarak Sakarya Nehri’ne katılır. Bu açıdan Sakarya Nehri’nin en uzun koludur (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, 2013). Havza içerisinde yer alan önemli akarsular Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Sakarya Havzası içerisinde yer alan önemli akarsular (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, 2013)

Adı	Uzunluk (km)	Ortalama Debi (m ³ /s)
Sakarya Nehri	720	158,1
Seydi Çayı	107	38
Bardakçı Deresi	42	0,1
Gökpınar Deresi	100	5,6
Ilıcaözü Deresi	40	1,5
Porsuk Çayı	448	16,4
Ilıcaözü Deresi	40	1,5
Ankara Çayı	140	11,9
Kirmir Çayı	160	-
Aladağ Çayı	83	0,8
Nallıdere	31	-
Değirmendere	17	0,2
Çatak Çayı	20	0,1
Göynük Çayı	60	6,1
Göksu Çayı	105	18,9
Karasu Çayı	65	1,4
Mudurnu Çayı	120	22,2
Çarşuyu	45	4,7

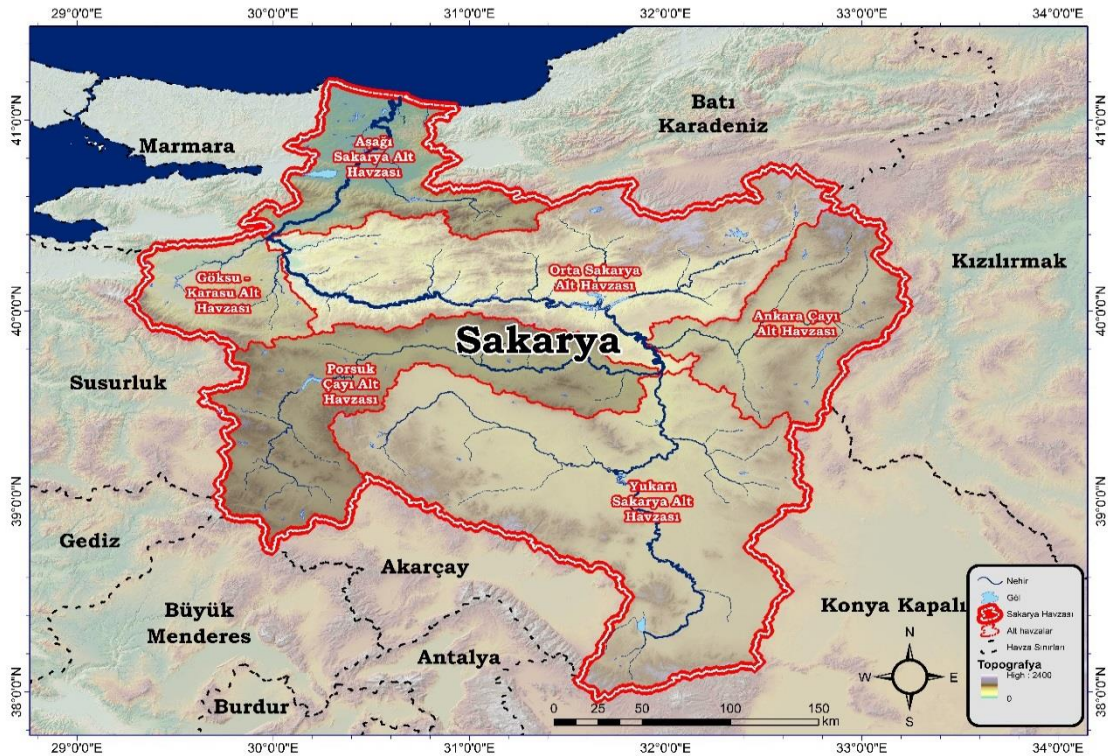
Sakarya Havzası sınırlarında Ankara'nın Merkez ilçeleri de dahil olmak üzere %70'lik kısmı, Eskişehir'in tamamı, Bilecik'in %98'i, Sakarya'nın %92,3'ü, Bolu'nun %53,75'i, Kütahya'nın Merkez ilçesiyle birlikte %37'si, Kocaeli'nin %10'u yer almaktadır (Görsel 3.1) (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, 2013).



Görsel 3.1. Sakarya Nehri Havzası sınırları

Sakarya Havzası içerisinde kalan arazilerin yarısından fazlası tarımsal alanlardır. Havza sınırlarında yer alan toplam 6.650.224 hektar arazinin 3.448.740 hektarlık kısmı tarım arazisi, 3.010.433 hektarlık kısmı ise orman ve yarı doğal arazilerdir. Su kütleleri %0,43 ve sulak alanlar ise %0,16'lık bir yüzeyi kaplamaktadır (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, 2013).

Sakarya Havzası çeşitli alt havzalara ayrılmaktadır (Görsel 3.2). Havza içerisinde yere alan alt havza alanlarında farklı iklim çeşitleri görülmektedir. Yukarı Sakarya Alt Havzasında ve Orta Sakarya Alt Havzasında tipik İç Anadolu karasal iklimi görülür. Yazlar sıcak, kışlar ise soğuk geçmekte, yaz mevsimlerinde az miktarda yağış olmaktadır. Havzanın en büyük şehri olan Ankara'nın yukarı (kuzey) kesimlerinde ılıman ve yağışlı Karadeniz iklimi görülmektedir. Porsuk Çayı Alt Havzası'nın yukarı kesimlerinde ve özellikle Kütahya civarında İç Batı Anadolu geçiş iklim kuşağı etkindir. Sıcaklık koşulları bakımından İç Anadolu karasal iklimi etkiliyken yağış şartları bakımından Marmara Bölgesi etkisi görülür. Topraklarının tamamı havza içerisinde kalan Eskişehir'de, Ege ve İç Anadolu karasal ikliminin etkileri görülür. Ancak Sarıcakaya Bölgesi'nde, Akdeniz iklimi özelliklerine sahip bir mikro klima mevcuttur. Havzada uzun yıllar boyunca izlenen sıcaklık değerleri, özellikle yukarı kesimlerdeki yüksek rakımlı bölgelerden Karadeniz'e doğru inildikçe sıcaklığın arttığını göstermektedir (Yaykiran, 2016).



Görsel 3.2. Sakarya Nehri Havzası'nın alt havzaları

Havza içerisinde Yukarı Sakarya Nehri olarak ifade edilen bölüm Eskişehir ili Çifteler ilçesi Sakaryabaşı mevkiindeki mambadan doğan nehrin, Seydisuyu Deresi ve Porsuk Çayı'yla birleşerek kuzey yönünde Ankara ili Nallıhan ilçesi sınırlarında olan Sarıyar Baraj Gölü'ne kadar olan kısmıdır. Bu noktadan itibaren ise Orta Sakarya Nehri olarak adlandırılan bölüm başlamakta ve akarsu baraj gölüyle birlikte yönünü batıya çevirerek Bilecik iline yönelmekte ve burada tekrar kuzeye yönelerek mansaba ulaşmaktadır.

Sakarya Nehri Havzası, başkent Ankara, Eskişehir ve Sakarya gibi gelişmiş büyükşehirleri de barındırması sayesinde atıksu altyapı sistemi bakımından pek çok diğer havzaya göre iyi durumdadır. Havzanın toplam nüfusunun %90'ı kanalizasyon sistemine sahiptir. Ankara Çayı Alt Havzası'nda nüfusun tamamına yakını, Porsuk Çayı Alt Havzası'nda nüfusun yaklaşık %85'i, Göksu-Karasu Alt Havzası'nda nüfusun %74'ü kanalizasyon hizmeti almaktadır. Ancak bu altyapı hizmetinin en düşük olduğu alt havza %49'luk nüfus oranıyla Yukarı Sakarya Alt Havzası'dır (Yaman Büyükbüberoğlu, 2016).

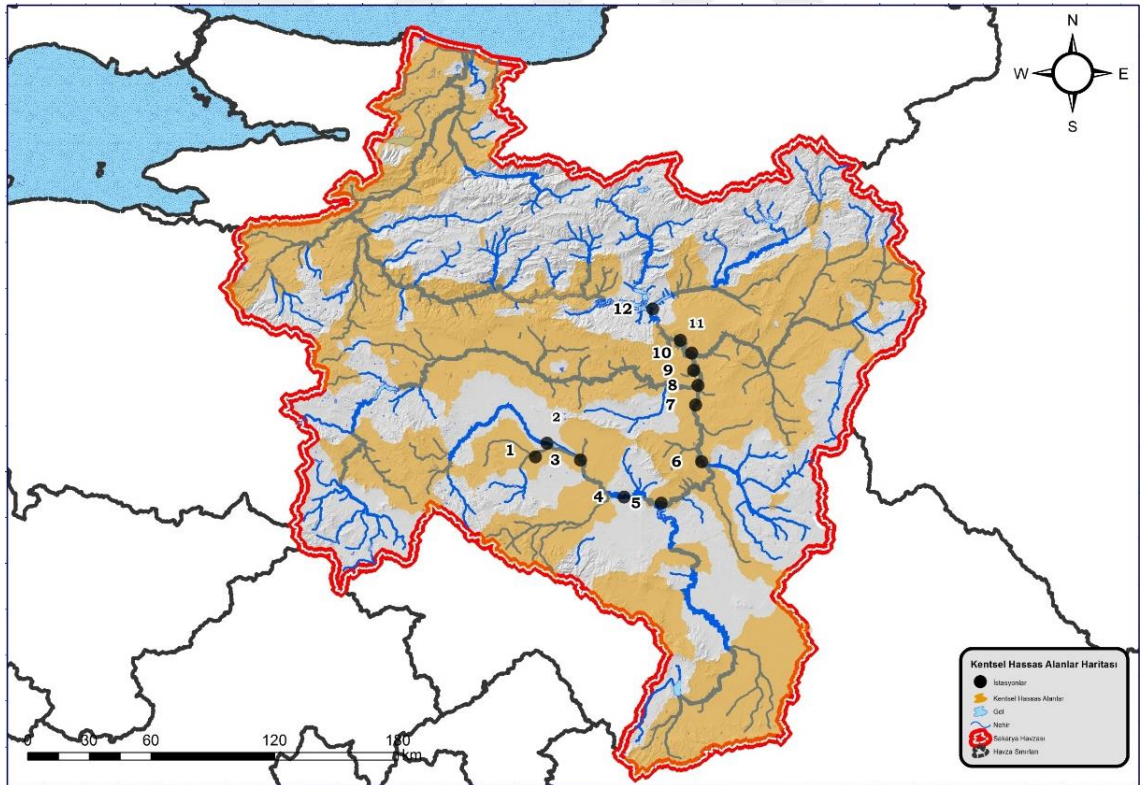
Kanalizasyon sistemi, atıksuların en uygun şekilde toplanarak en yakın atıksu arıtma tesisine iletilmesini sağlayarak özellikle civarda bulunan alıcı ortamların kontrolsüz deşarjlardan en az oranda etkilenmesini sağlar. Ancak sonu arıtma tesisleriyle bitmeyen kanalizasyon sistemleri ise alıcı ortam üzerinde doğrudan bir baskı noktası oluşturarak kirlilik yükünün pik derişimde verilmesine neden olurlar. Yukarı Sakarya Nehri ve bu nehri besleyen akım kolları üzerinde yer alan önemli yerleşim yerlerinin atıksu arıtma tesisi bulunma durumları Çizelge 3.2'de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Yukarı Sakarya Nehri'ni ve kollarını alıcı ortam olarak kullanan atıksu arıtma tesisleri (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019)

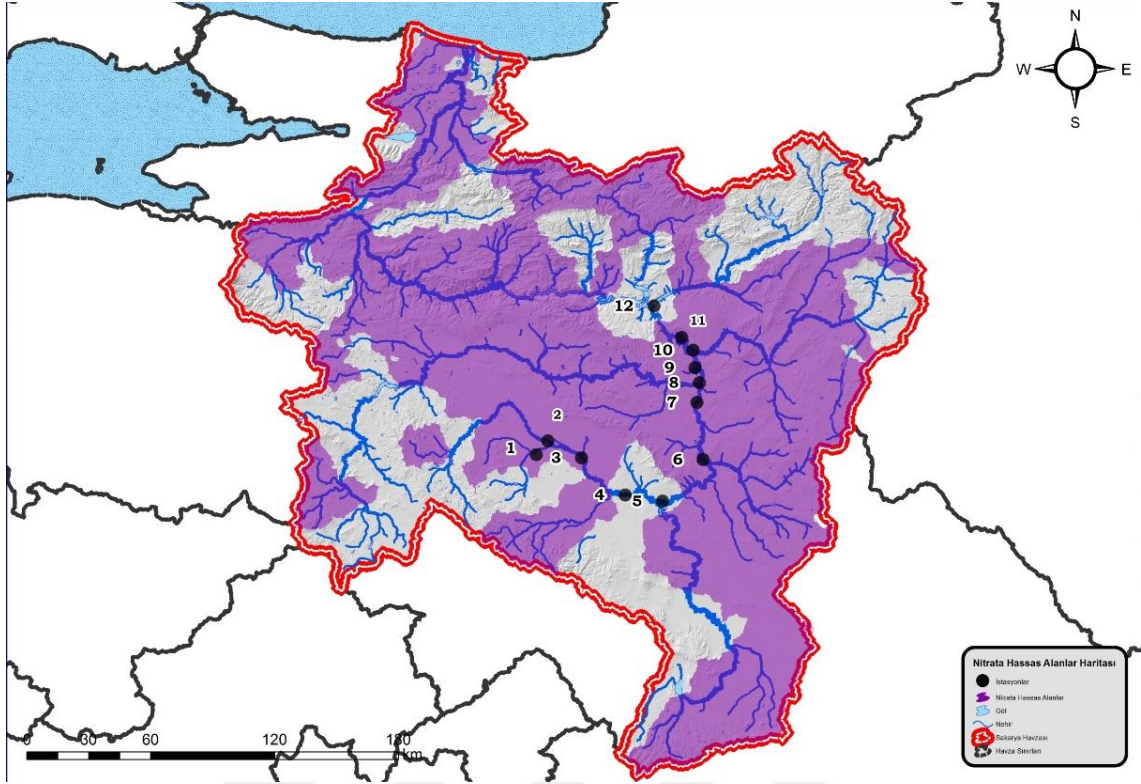
Akarsu	Yerleşim Birimi	Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Durumu
Yukarı Sakarya Nehri	Çifteler ilçesi	AAT var, deşarj yapıyor
Yukarı Sakarya Nehri	Polatlı ilçesi	AAT var, deşarj yapıyor
Seydisuyu Deresi	Seyitgazi ilçesi ve Kırka Mah.	AAT var, deşarj yapıyor
Seydisuyu Deresi	Mahmudiye ilçesi	AAT var, deşarj yapıyor
Pınarbaşı Deresi	Emirdağ ilçesi	AAT var, deşarj yapıyor
Porsuk Çayı	Kütahya – Merkez ilçesi	AAT var, deşarj yapıyor
Porsuk Çayı	Eskişehir – Merkez ilçeleri	AAT var, deşarj yapıyor
Ankara Çayı	Ankara – Merkez ilçeleri	AAT var, deşarj yapıyor

Sakarya Havzası'nda yer alan akarsularda, Devlet Su İşleri III. Bölge Müdürlüğü tarafından ilk defa 1969 yılında su kalitesi izleme çalışmaları başlamıştır. Planlanan izleme programında, Porsuk Çayı'nın Eskişehir'e giriş ve çıkış noktaları ile alıcı ortam olarak bu akarsuyu kullanan Eskişehir Şeker Fabrikası, Sümerbank Tekstil Fabrikası, TÜLOMSAŞ Lokomotif Fabrikası ve Organize Sanayi Bölgesi atıksu deşarj noktasından aylık periyotlarla su numuneleri alınmıştır. Bir yıl süren bu izleme sonucunda Porsuk Çayı'nın kirlilik derecesi hakkında değerlendirme yapılmıştır (Burak Baltaoğlu, 1990).

Sakarya Havzası içerisinde, çeşitli amaçlarla için su kalitesinin belirlenebilmesi amacıyla kurulu 224 adet izleme istasyonu bulunmaktadır. Bu bakımdan Sakarya Havzası, Fırat-Dicle ve Kızılırmak havzalarından sonra en çok izleme istasyonunun bulunduğu havza olarak öne çıkmaktadır. Yine, havza sınırlarında bulunan 214 su kütlesinden 108 adedi hassas alan, 80 adedi kentsel hassas alan (Görsel 3.3) ve 91 adedi nitrata hassas alan (Görsel 3.4) olarak belirlenmiştir (http-10).



Görsel 3.3. Sakarya Havzası'nda kentsel hassas alanlar



Görsel 3.4. Sakarya Havzası'nda nitrata hassas alanlar

Eskişehir iline bağlı Çifteler ilçesinde bulunan memba, ilk istasyon noktası olarak belirlenmiş olup nehrin havzası içerisinde yer alan en önemli akarsular Seydisuyu Deresi, Porsuk Çayı ve Ankara Çayı'ndan gelen baskıları da içerecek toplamda 12 adet sıralı istasyon belirlenmiştir. Son istasyon, Sarıyar Baraj Gölü'nün hemen öncesindeki belirlenmiştir. Çalışma süresince mevsimsel olarak numune alınan istasyonlara ilişkin bilgiler Çizelge 3.3'te yer almaktadır.

Çizelge 3.3. İstasyonlara ilişkin konum bilgileri ve açıklamalar

Nokta	Enlem	Boylam	Enlem	Boylam	Açıklama
1. No.lu İstasyon	39°21'10.1"N	31°03'32.0"E	39.352800	31.058900	Erbap, Çifteler / Eskişehir
2. No.lu İstasyon	39°24'52.2"N	31°07'23.0"E	39.414480	31.123065	Saithalimpaşa, Çifteler/Eskişehir (Seydisuyu)
3. No.lu İstasyon	39°20'35.5"N	31°18'50.5"E	39.343200	31.314013	Dikmen, 26600 Çifteler/Eskişehir (Seydisuyu karışımı sonrası)
4. No.lu İstasyon	39°11'06.4"N	31°33'42.6"E	39.185110	31.561840	Kurtseyh, 26600 Sivrihisar/Eskişehir
5. No.lu İstasyon	39°09'35.8"N	31°46'17.2"E	39.159930	31.771450	Çakmak, Günyüzü-Çeltik Yolu, 26630 Günyüzü/Eskişehir

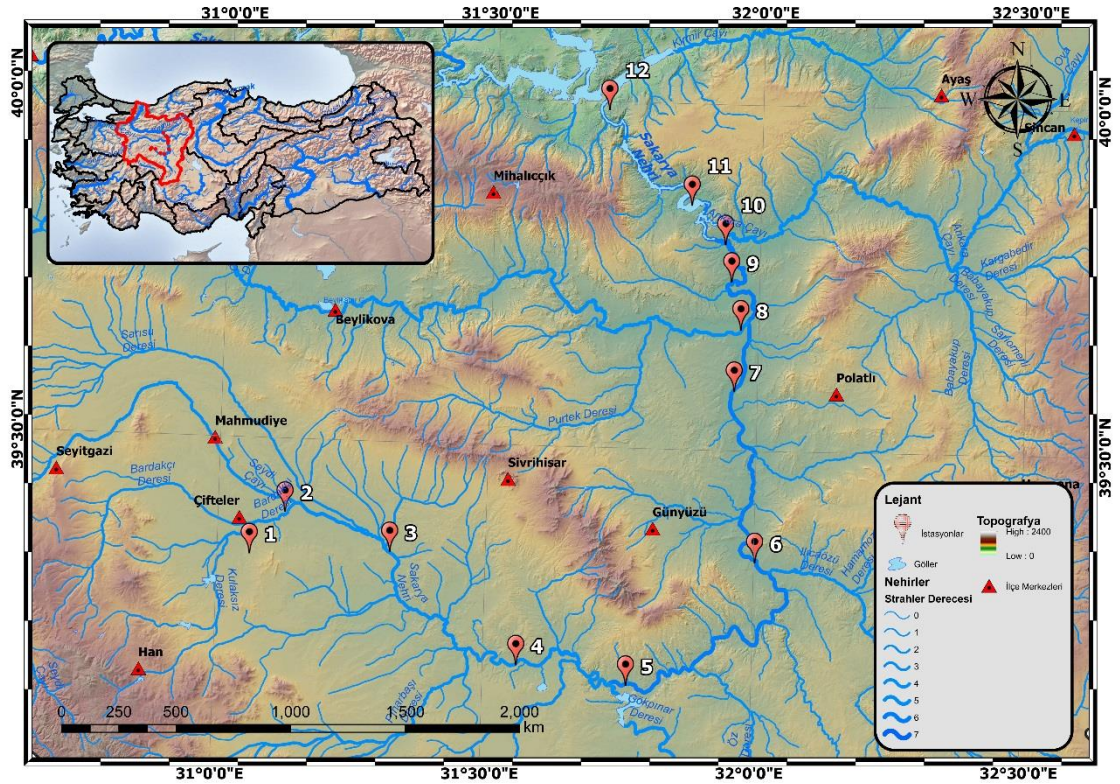
Çizelge 3.3. (Devam) *İstasyonlara ilişkin konum bilgileri ve açıklamalar*

Nokta	Enlem	Boylam	Enlem	Boylam	Açıklama
6. No.lu İstasyon	39°20'36.2"N	31°59'48.1"E	39.343400	31.996690	Gümüşyaka, 06900 Polatlı/Ankara
7. No.lu İstasyon	39°35'31.4"N	31°57'28.8"E	39.592048	31.957998	Beylikköprü, Polatlı/Ankara
8. No.lu İstasyon	39°40'39.0"N	31°58'12.5"E	39.677510	31.970140	Kıranharmanı, Polatlı/Ankara (Porsuk Çayı, karışım öncesi)
9. No.lu İstasyon	39°44'32.8"N	31°56'38.9"E	39.742430	31.944140	Karacaahmet, 06900 Polatlı/Ankara (Porsuk Çayı karışımı sonrası)
10. No.lu İstasyon	39°49'05.2"N	31°55'58.0"E	39.818110	31.932770	Çağlayık, Yeniköşeler, Polatlı/Ankara (Ankara Çayı, karışım öncesi)
11. No.lu İstasyon	39°52'25.5"N	31°52'05.6"E	39.873735	31.868226	Dümrek, Mihalıççık/Eskişehir (Ankara Çayı karışımı sonrası)
12. No.lu İstasyon	40°00'32.8"N	31°42'31.0"E	40.009113	31.708602	Uşakbükü, Mihalıççık/Eskişehir (Sarıyar Baraj Gölü girişi)

Çizelge 3.3'te isimleri ve konumları yer alan istasyonlar, uydu görüntüsü üzerinde konumlandırılmış olup Görsel 3.5'te istasyonların ve çalışma alanının tamamı görülmektedir. Dört mevsim süresince, istasyonların tümünden numuneler alınarak su kalite indekslerinin hesaplanmasında kullanacak parametreler ve diğer fizikokimyasal parametreler belirlenmiştir.

Bu kapsamda; 1 no.lu istasyon, Sakarya Nehri'nin membaı olarak ele alınmaktadır (Görsel 3.6). Ayrıca Sakarya Nehri'nin ana koluna karışmadan hemen önce belirlenen 2 no.lu istasyon Seydisuyu Deresi'ni, 8 no.lu istasyon Porsuk Çayı'nı ve 10 no.lu istasyon ise Ankara Çayı'nı temsil etmektedir. Bu şekilde mansaba doğru akarsu üzerinde bulunan yerleşim yerlerinden ve tarım arazilerinden kaynaklı kirlilik yüküne önce 2 no.lu istasyondan sonra Seydisuyu Deresi, ardından da Eskişehir kent yerleşimine ait kirlilik yükünü taşıyan Porsuk Çayı 8 no.lu istasyondan sonra karışmaktadır. Bu nokta ilk büyük kirlilik baskı noktası olarak düşünülmektedir. Benzer şekilde, 10 no.lu istasyon Ankara kent yerleşimine ait kirlilik yükünü taşıyan Ankara Çayı'nı, 11 no.lu istasyon ise Sakarya Nehri'ne karıştıktan sonrasını temsil etmektedir. 10 no.lu istasyon ikinci büyük kirlilik baskı noktası olarak düşünülmektedir. Akarsu, nihai olarak 12 no.lu istasyondan hemen

sonra Sarıyar Baraj Gölü'ne (mansap) ulaşmaktadır (Görsel 3.7). Bu sayılan istasyonlardan 2, 5 ve 12 no.lu olanlar dışında tamamı kentsel hassas alanlar içerisinde kalmaktadır (Görsel 3.3). Yine benzer şekilde çalışma alanında 5 ve 12 no.lu istasyonlar hariç tüm diğer istasyonlar nitrata hassas olan alanlar içerisinde yer almaktadır (Görsel 3.4).



Görsel 3.5. Çalışma alanını ve izleme istasyonlarını gösterir harita



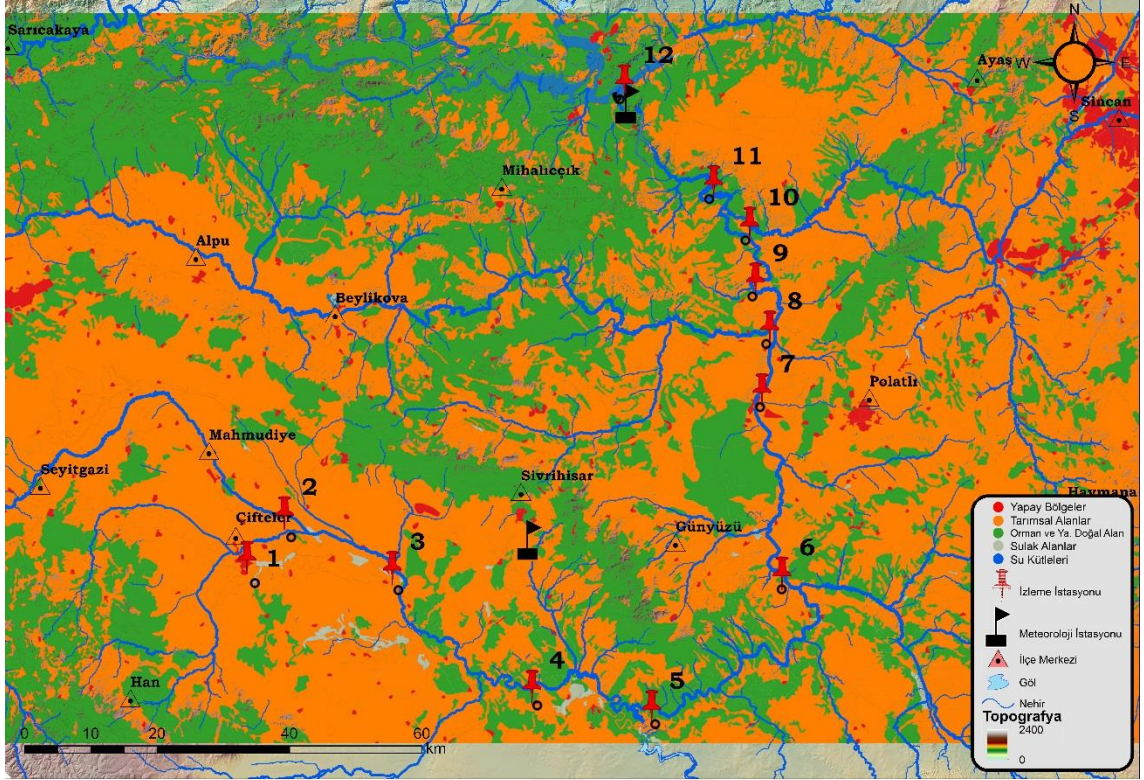
Görsel 3.6. 1 no.lu istasyondan (memba) görünüş



Görsel 3.7. 12 no.lu istasyondan (mansap) görünüş

CORINE, “*Coordination of Information on the Environment*” sözcüklerinin kısaltması olup çevresel bilginin koordinasyonu anlamına gelmektedir. Avrupa Çevre Ajansı (AÇA) tarafından belirlenen kriterler ve sınıflandırma sistemi doğrultusunda, üye ülkelerin arazilerindeki arazi örtüsü ve kullanım sınıflarının (44 farklı kullanım sınıfı) uydu görüntüleri kullanılarak ve görsel yorumlamaya dayalı olarak belirlenmesi sonucu düzenli aralıklarla veriler üretilmektedir. Türkiye’de Orman ve Su İşleri Bakanlığı koordinasyonu ile yürütülen çalışmalarda, “*arazideki çevresel değişimlerin belirlenmesi, doğal kaynakların rasyonel biçimde yönetilmesi ve çevre ile ilgili politikaların oluşturulması amaçlarına yönelik, aynı temel verilerin yönetilmesi ve standart bir veritabanı oluşturulması*” hedeflenmektedir (http-08).

Bu doğrultuda çalışma alanının CORINE verileri incelendiğinde, istasyonların çoğunlukla tarımsal alanların içerisinde olduğu, ancak orman ve yarı doğal arazilerin de bölgede iç içe bulunduğu görülmektedir (Görsel 3.8). Doğrudan yapay bölgeler (kent yerleşimleri) içerisinde herhangi bir istasyon bulunmamaktadır. Ancak Doğu yönünde Sincan yerleşiminden geçerek gelen Ankara Çayı’nın 10 no.lu istasyondan hemen sonra akarsuya bağlandığı görülmektedir.



Görsel 3.8. Çalışma alanının arazi örtüsü (CORINE) sınıfları

25.01.2017 tarihli ve 29959 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Doğal Sit Alanları Koruma ve Kullanma Koşulları İlke Kararı’nda, Nitelikli Doğal Koruma Alanları; “doğal yapısı değişmemiş veya az değişmiş, modern yaşam ve önemli ölçüde insan faaliyetleri tarafından etkilenmemiş, doğal süreçlerin hakim olduğu, koruma amaçlarına uygun olarak yörede yaşayanların alanın mevcut kaynaklarını kullanmasını sağlayarak doğal hayata dayalı geleneksel yaşam şekillerinin korunduğu kara, su, deniz alanları” olarak tanımlanmaktadır. Bu tanıma uygun olarak, çalışma alanında belirlenen 1 ve 4 no.lu istasyonlar “Nitelikli Doğal Koruma Alanı” içerisinde kalmaktadır. Ayrıca, 4 no.lu istasyon ile aynı koruma alanında yaklaşık 6,5 km mesafede Balıkdamı Sulak Alanı yer almaktadır.

3.2. Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları

Söz konusu tez çalışması, arazi ve laboratuvar çalışmaları olarak iki ayrı program dahilinde yürütülmüştür.

Arazi çalışmaları kapsamında, bir yılın her mevsimini temsil edecek şekilde belirlenen günlerde, sırasıyla her istasyondan yüzeysel su numuneleri alınmış, uygun saklama koşullarında muhafaza edilerek aynı gün içerisinde laboratuvara ulaştırılmıştır.

Çalışmada izlenen fizikokimyasal parametreler sıcaklık (°C), pH, çözünmüş oksijen (mg/L), çözünmüş oksijen doygunluğu (%), elektriksel iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$), tuzluluk (0%) ve bulanıklık (NTU) şeklindedir. Çalışmada izlenen kimyasal ve biyolojik parametreler sülfat (mg/L), amonyum (mg/L), nitrit (mg/L), nitrat (mg/L), toplam fosfor (mg/L), kimyasal oksijen ihtiyacı (mg/L), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (mg/L) ve fekal koliform (EMS/100mL) şeklindedir.

Arazide numune alımı esnasında ölçülen parametreler arazi tipi taşınabilir Thermo Orion Star A329 marka modelli pH metre cihazı ve elektrotları (pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen) sayesinde ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Bulanıklık parametresi ölçümü MicroTPI marka 20008 modelli türbidimetre cihazıyla gerçekleştirilmiştir (Görsel 3.9).



Görsel 3.9. Analizler için kullanılan türbidimetre cihazı

Fekal koliform parametresi, numunelerin alındığı aynı gün içerisinde, laboratuvarında besi yerlerine aşılanan su numunelerinin 48 saat boyunca sabit sıcaklıkta etüv içerisinde bekletilmesinin ardından “En Muhtemel Sayı (EMS)” yöntemiyle okunmuştur. EMS yöntemi sıvı besi yeri (Laktoz Broth) kullanan bir yöntemdir. Bu yöntemde önce, her bir istasyon için toplam dokuz tüp içerisine durham tüpleri ters ve içerisinde hava kalmayacak şekilde yerleştirilir. Her bir tüpe 10 mL hacminde besi yeri eklenir ve otoklavda 120 °C’de 1 atm basınç altında 15-30 dakika sterilize edilir. Sterilize

edilen tüpler üçlü gruplar halinde ayrılır ve bir istasyon için toplam dokuz tüp seçilir. Dokuz tüpten oluşan her gruba üçerli olarak 0,1 mL, 1 mL ve 10 mL numune aşılır. Daha sonra etüvde 35 derecede 48 saat boyunca sabit sıcaklıkla bekletilir. Bu süre sonunda dokuzarlı her grup, kendi içerisinde 0,1-1-10 mL aşı yapılan tüpleri temsil edecek şekilde üç alt gruba bölünür. Her bir üçlü alt grupta, koliform varlığı sonucunda durham tüplerinde gaz birikir (Görsel 3.10). Tüplerde gaz birikip birikmeme durumuna göre tüplere işaret konulur. Örneğin 0,1 mL ekim yapılan ilk üç tüpten iki tanesinde gaz çıkışı varsa bu grup 2 ile işaretlenir. Böylece okumanın sonunda toplam dokuz tüp ve üç alt gruptan oluşan ilk grupta elde edilecek sonuç x-y-z (örneğin 2-1-3 ya da 0-0-1) şeklinde raporlanır. Bu sonuçlara karşılık gelen değerler, EMS Cetveli'nden okunarak EMS/100 mL olarak belirlenir (http-7; Anonim, 2005; Türk Standartları Enstitüsü, 2014).



Görsel 3.10. Ekim işlemi sonrasında besi yerlerinde gözlenen değişim

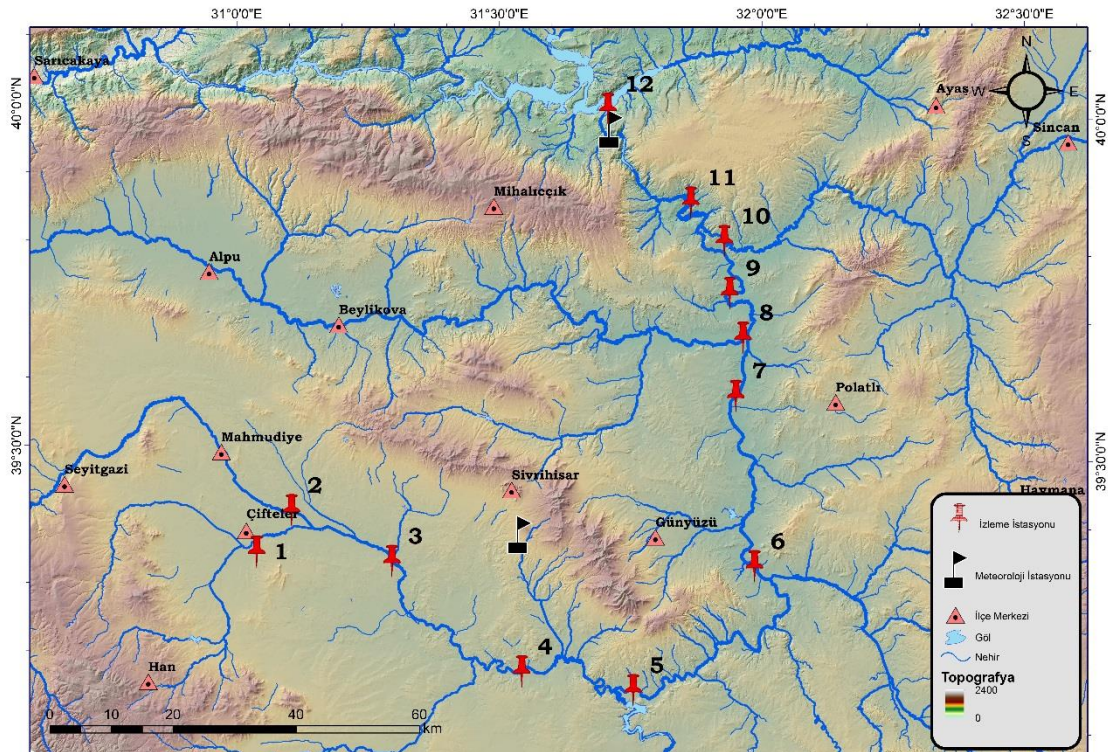
Kimyasal analizler Hach tarafından üretilen LCK serisi kit testleriyle ve Hach Lange DR 2800 modelli spektrofotometre ile gerçekleştirilmiştir. Her bir parametre için kirleticinin tahmini yükü göz önüne alınarak seyreltik ya da derişik kitler kullanılmıştır. Kullanılan kitlere göre uygulanan deney standartları Çizelge 3.4'te verilmektedir.

Sonbahar mevsimi arazi çalışmasının yapıldığı 17 ve 18 Kasım 2018 tarihlerinde, hava sıcaklıkları çalışma alanında ortalama 4,1 ve 5,9 °C olarak ölçülmüştür. Ayrıca hafif yağış gözlenmiştir. Kış mevsimini temsilen 19 ve 22 Şubat 2019 tarihlerinde yapılan çalışma süresince, hava sıcaklıkları ortalama 8,7 ve 5,9 °C olarak ölçülmüştür. Ayrıca 19 Şubat tarihinde hiç yağış gözlenmemiş olup 22 Şubat tarihinde hafif yağış gözlenmiştir. Arazi çalışmasının yapıldığı ilkbahar mevsiminde 19 ve 20 Nisan 2019 tarihlerinde, hava

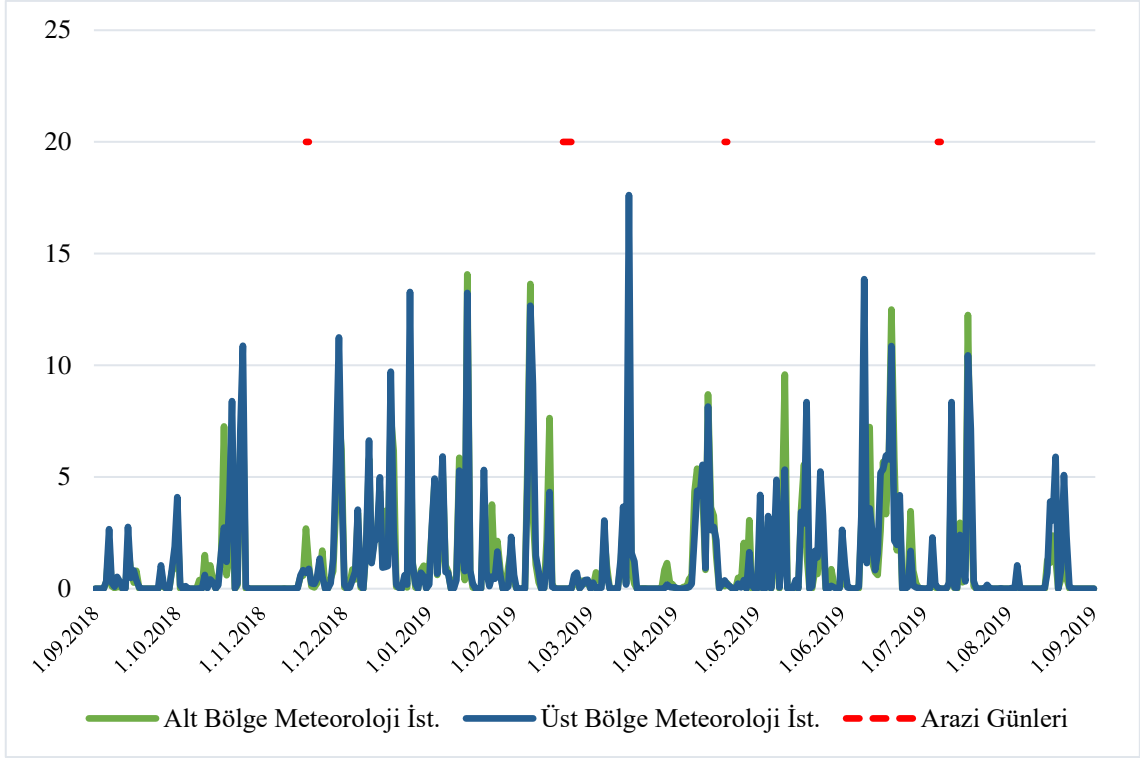
sıcaklıkları her iki günde de ortalama 6,2 °C olarak ölçülmüştür. Ayrıca her iki günde de bölgede hiç yağış gözlenmemiştir. Son arazi çalışmasının yapıldığı 6 ve 7 Temmuz 2019 tarihlerinde, hava sıcaklıkları ortalama 25,5 ve 27 °C olarak ölçülmüştür. Ayrıca her iki günde de bölgede hiç yağış gözlenmemiştir.

Çizelge 3.4. Kullanılan kitlere göre deney standartları (<http-11>)

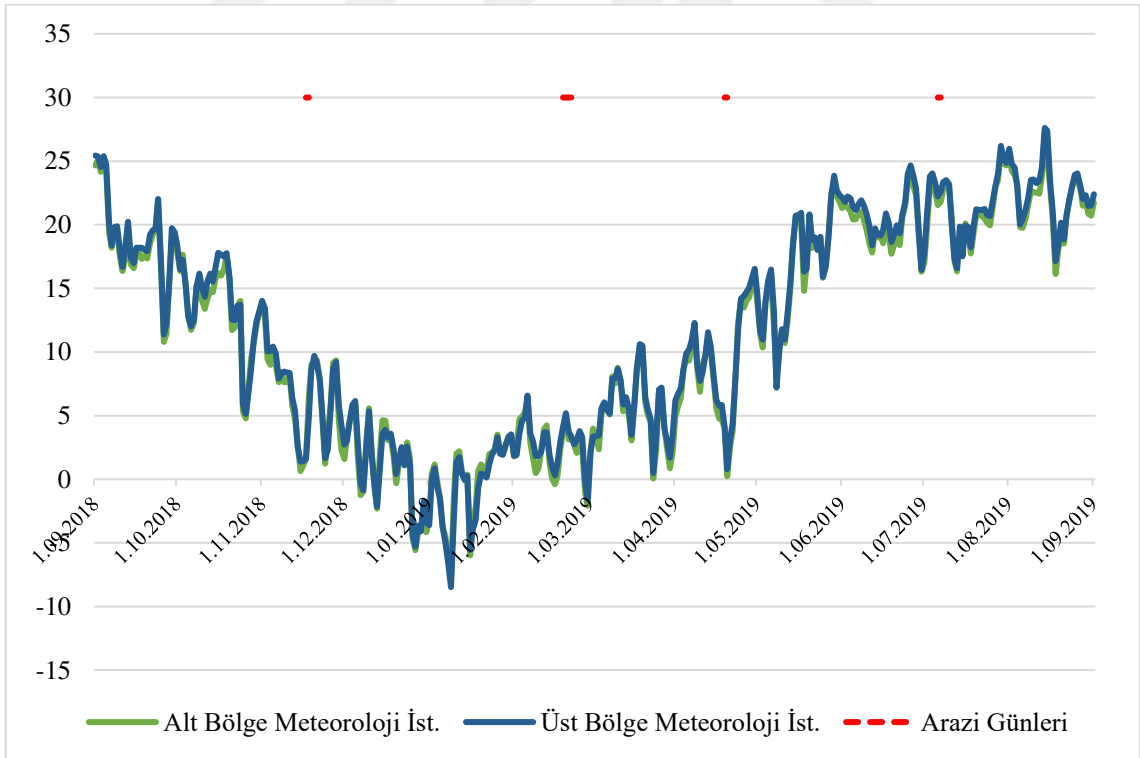
Yüksek Kiti	Derişim	Düşük Kiti	Derişim	Kullanılan Standart	Kullanılan Metot	Analiz Adı
LCK153						
LCK303		LCK304		ISO 7150-1, DIN 38406 E5-1, UNI 11669:2017	Baryum Sülfat İndofenol Mavisi	Sülfat tayini Amonyum tayini
LCK340		LCK339		ISO 7890-1-2-1986, DIN 38405 D9-2	2,6 Dimetilfenol	Nitrat tayini
LCK342		LCK341		EN ISO 26777, DIN 38405 D10	Diazotizasyon	Nitrit tayini
LCK349				ISO 6878_2004, DIN EN 6878 / D11	Fosformolibden Mavisi	Fosfat (toplam) tayini
LCK555		LCK554		EN 1899-1	Seyreltme Yöntemi	BOİ ₅ tayini



Görsel 3.11. Meteoroloji gözlem istasyonları



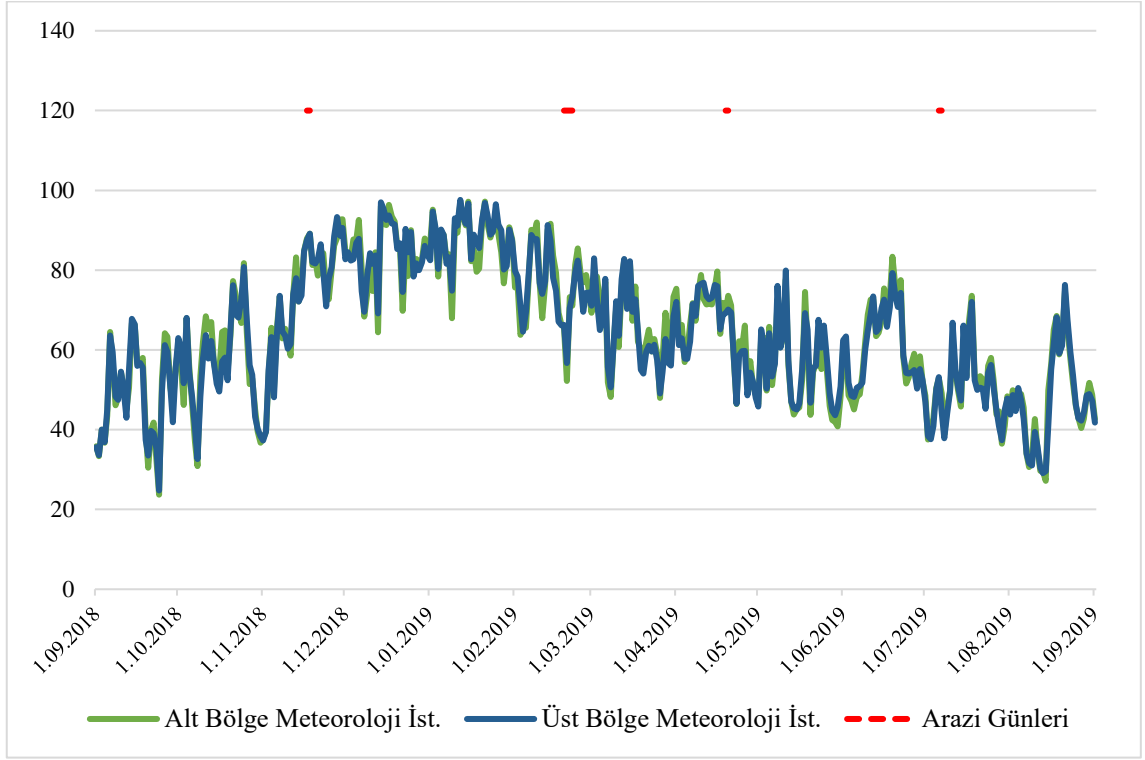
Şekil 3.1. Çalışma süresince bölgede yağış dağılımı (http-09)



Şekil 3.2. Çalışma süresince bölgede sıcaklık dağılımı (http-09)

Bölgede yer alan ve yaklaşık 40 km.lik bir yarıçapla tüm çalışma alanını temsil edebilen iki meteoroloji istasyonu alt bölge ve üst bölge olarak belirlenmiştir (Görsel 3.11). Alt bölge meteoroloji istasyonu, membadan mansaba doğru ilk altı istasyon ve

çevresinde meydana gelen meteoroloji olaylarını temsil etmektedir. Üst bölge istasyonu ise 7 no.lu istasyondan mansaba kadar olan diğer istasyonları temsil etmektedir. Her iki istasyondan 01.09.2018-01.09.2019 tarihleri arasında alınan yağış, sıcaklık ve nem değerleri Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3'te verilmektedir.



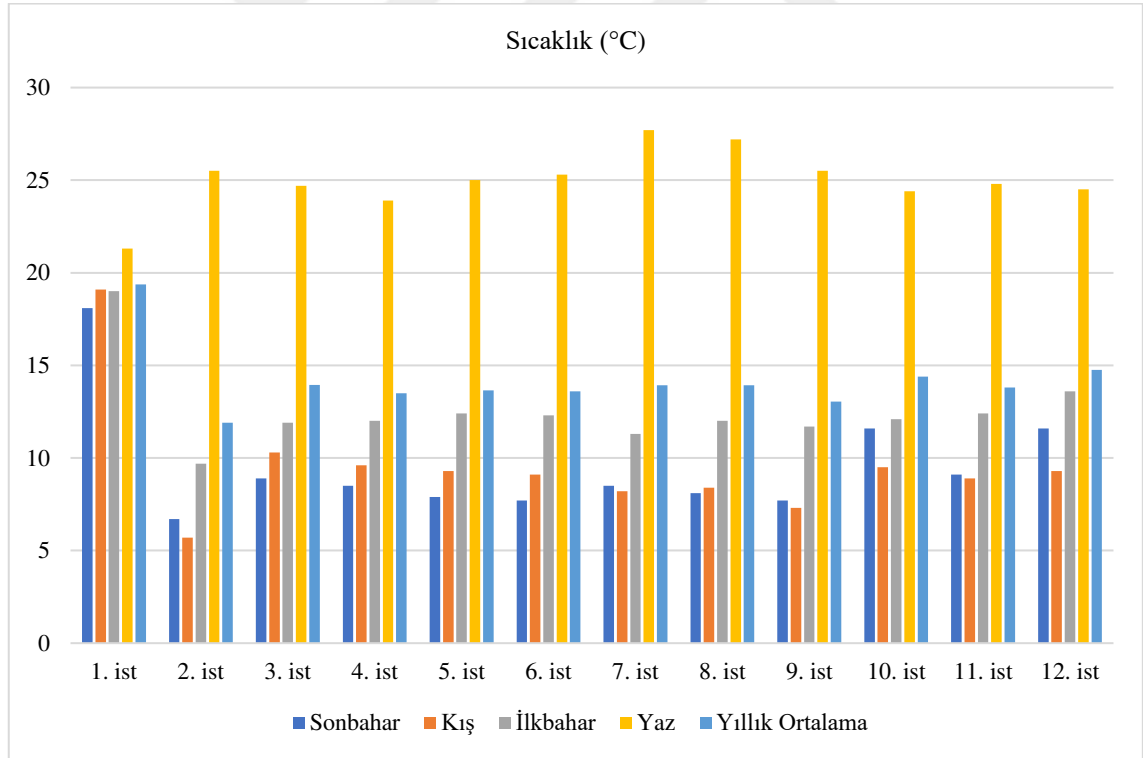
Şekil 3.3. Çalışma süresince bölgede bağıl nem dağılımı (*http-09*)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmalar boyunca tüm istasyonlardan dört mevsimde alınan numunelere ait ölçüm değerleri öncelikle su kalitesi bakımından değerlendirilmiştir. Daha sonra her bir istasyon için farklı su kalitesi indeksleri kullanılarak indeks sınıflarının belirlenmesi sağlanmıştır.

4.1. Su Kalitesi Hesaplamaları

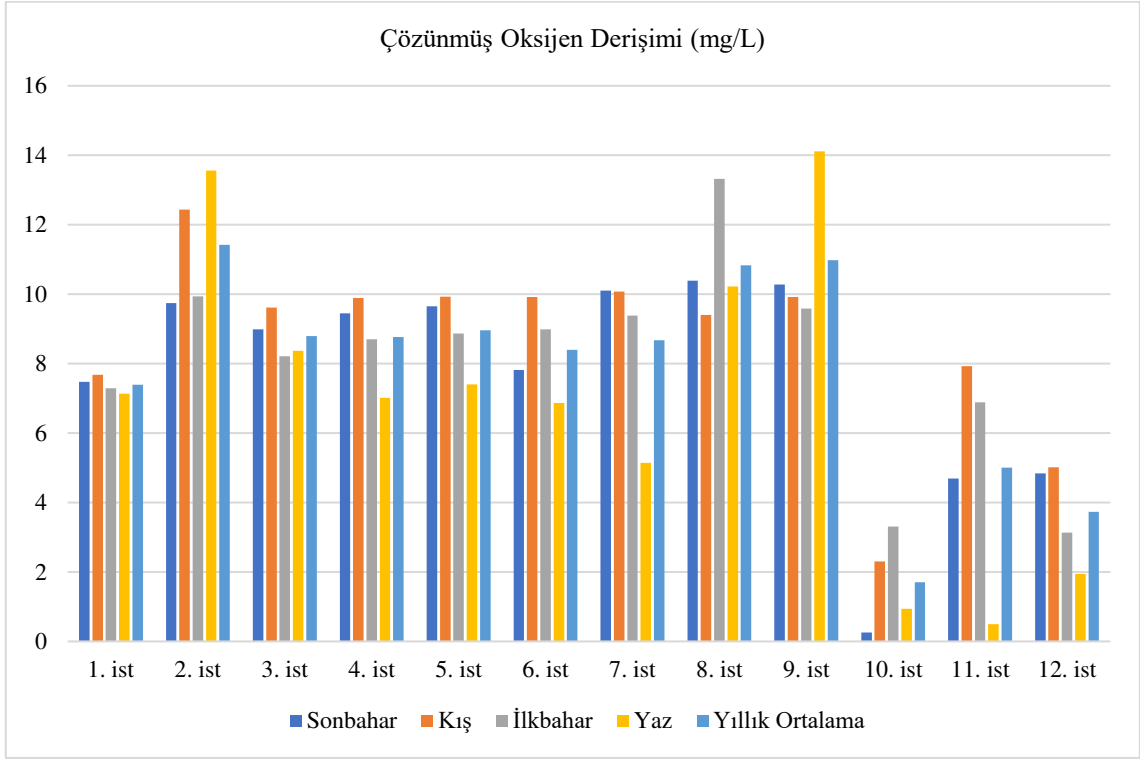
Çalışma süresince izlenen 12 istasyonda ölçülen sıcaklık değerleri Şekil 4.1’de verilmektedir. Yıl boyunca 1 no.lu istasyonda sıcaklık değerinin tüm mevsimlerde birbirine çok yakın olduğu dikkati çekmektedir. Bunun dışındaki tüm istasyonlarda sıcaklık değerlerinin mevsimlere göre neredeyse aynı profili gösterdiği anlaşılmaktadır. Yıllık ortalama sıcaklık değerinin ise (1 no.lu hariç) yıl boyu tüm istasyonlarda 13-14 °C civarında değiştiği görülmektedir.



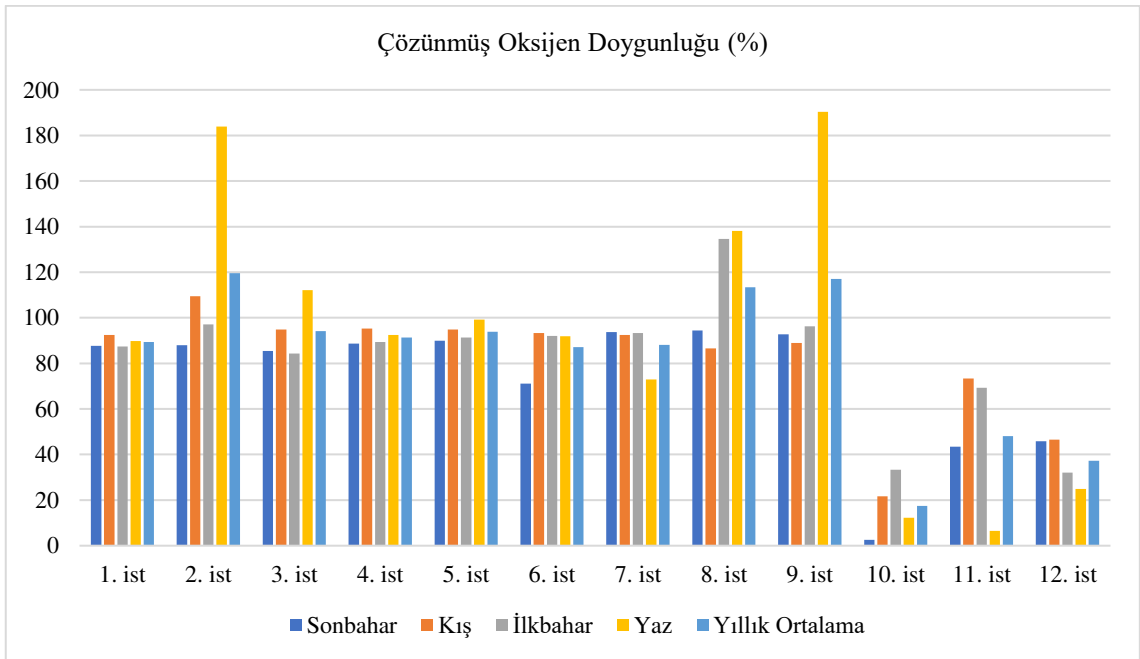
Şekil 4.1. Çalışma süresince ölçülen sıcaklık değerleri

Çözünmüş oksijen derişimi değerinin yıl boyunca izlenmesi sonucunda, özellikle 10 no.lu istasyondan itibaren dramatik bir düşüş yaşandığı görülmüştür (Şekil 4.2). Bu istasyon Ankara Çayı’nın Sakarya Nehri’ne karışımı öncesini ve kirlilik yükünü temsil

etmektedir. Yıl boyunca en iyi ortalama değerin membaa yakın olan 2 no.lu istasyonda (11,4 mg/L) ölçüldüğü anlaşılmıştır. Benzer şekilde, çözünmüş oksijen doygunluğu değerlerinde de mevsimlik ölçümlerde ve yıllık ortalama değerlerde, 10 no.lu istasyonun karışımından itibaren ciddi azalmalar meydana gelmiştir (Şekil 4.3).

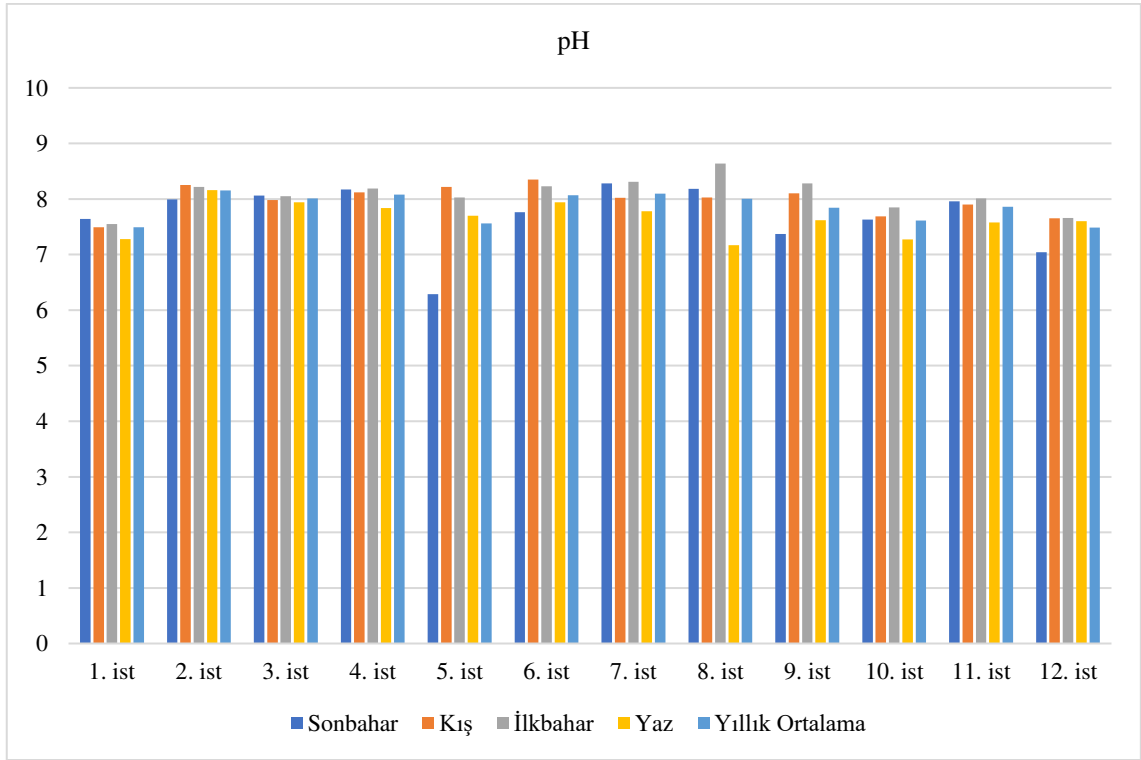


Şekil 4.2. Çalışma süresince ölçülen çözünmüş oksijen derişimi değerleri

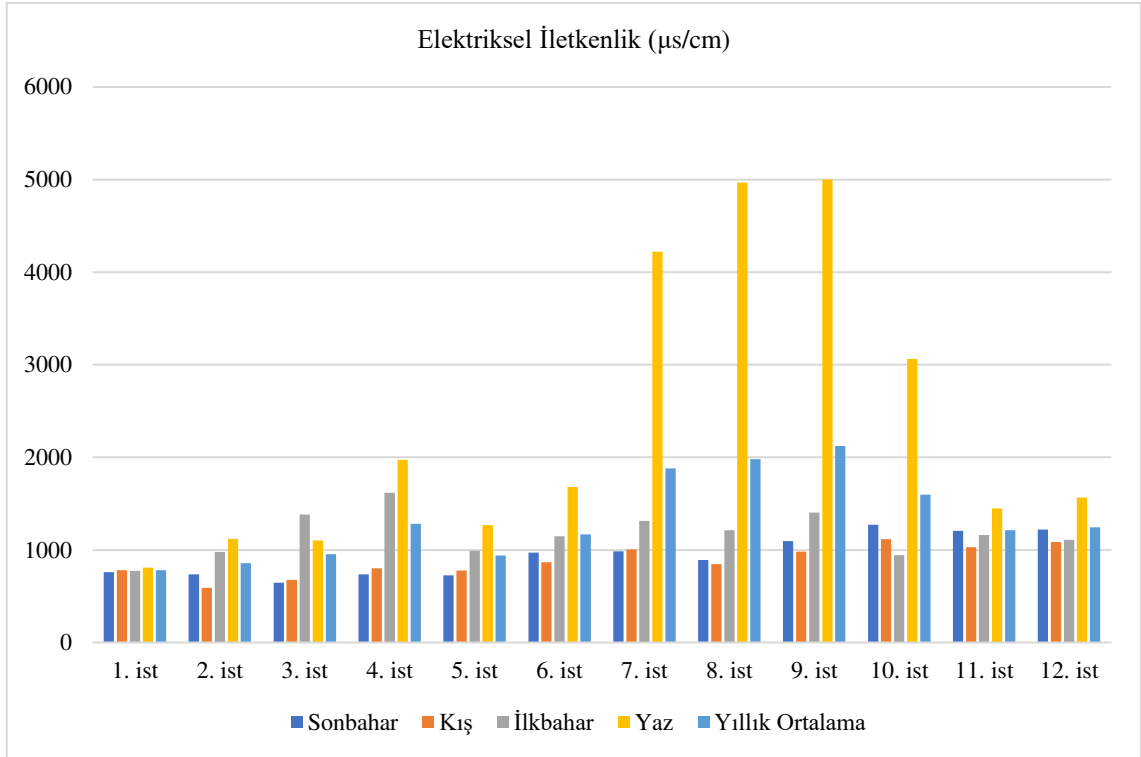


Şekil 4.3. Çalışma süresince ölçülen çözünmüş oksijen doygunluğu değerleri

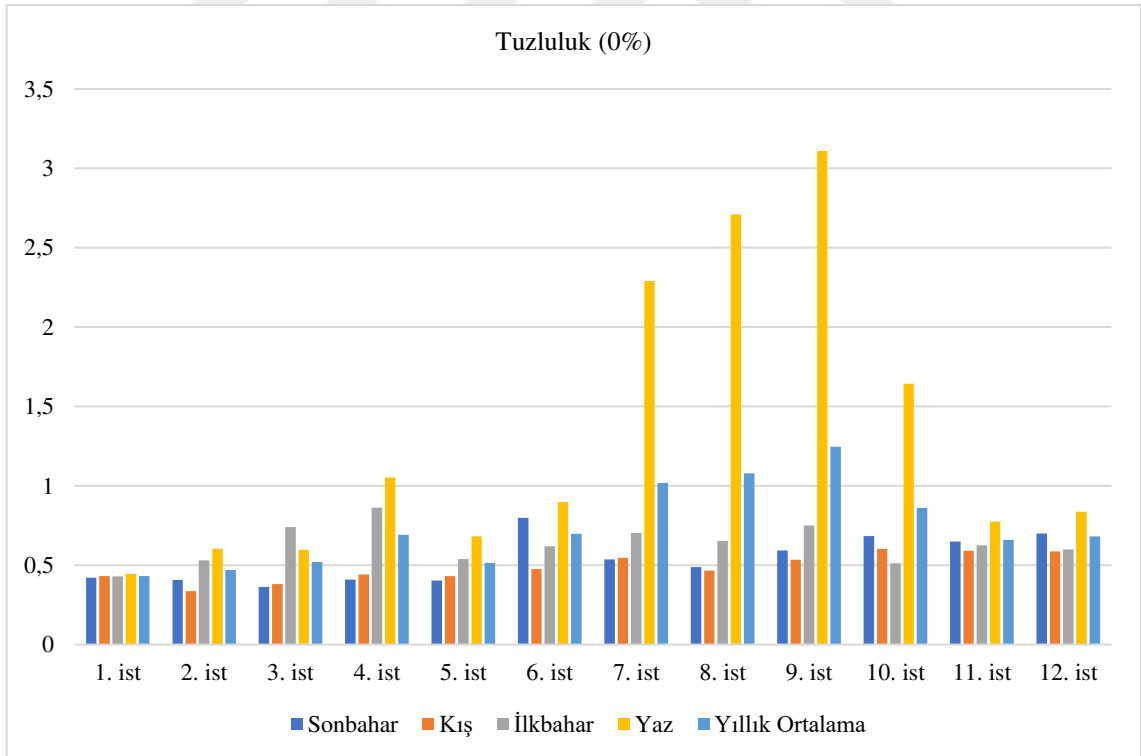
Çalışma alanında yıl boyunca yapılan ölçümlerde pH değerlerinin tüm mevsimlerde birbirlerine yakın oldukları görülmektedir (Şekil 4.4). Yıllık ortalama pH değerlerinin 7,4-8 aralığında değiştiği anlaşılmaktadır. İletkenlik değeri, özellikle Porsuk Çayı'nın karışımının öncesi ve sonrasını temsil eden 7, 8 ve 9 no.lu istasyonlarda yaz mevsiminde dikkat çekici düzeyde artış göstermiştir. Bunun dışında, özellikle 1 no.lu istasyonda yıl boyunca neredeyse aynı iletkenlik değerleri okunmuştur (Grafik 4.5). Benzer parametreler olması bakımından tüm istasyonlarda neredeyse aynı dağılım profilinin tuzluluk parametresi için de geçerli olduğu görülmektedir (Grafik 4.6). Membadan mansaba doğru tuzluluğun arttığı görülmektedir.



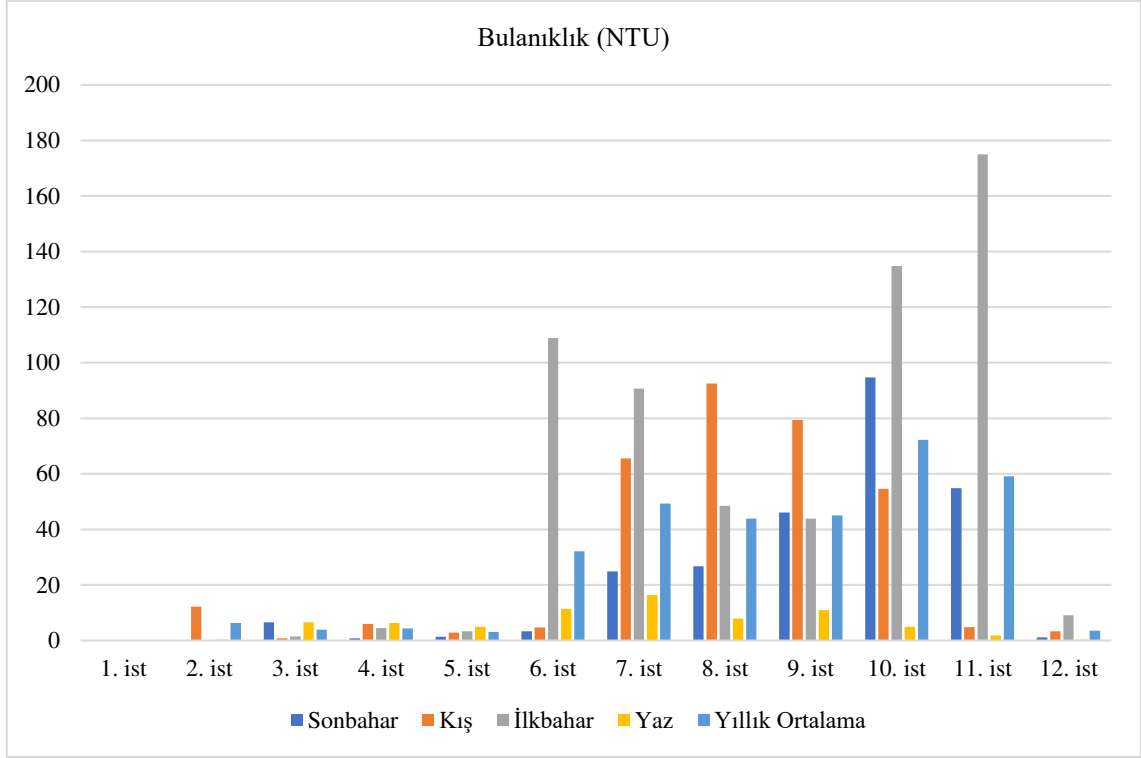
Şekil 4.4. Çalışma süresince ölçülen pH değerleri



Şekil 4.5. Çalışma süresince ölçülen elektriksel iletkenlik değerleri



Şekil 4.6. Çalışma süresince ölçülen tuzluluk değerleri



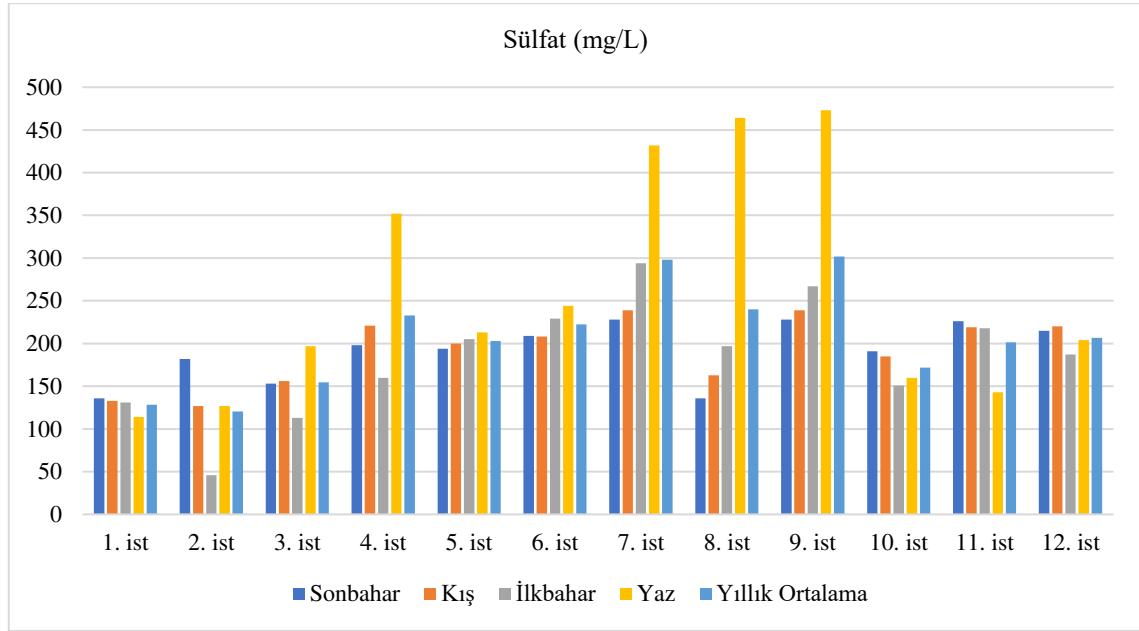
Şekil 4.7. Çalışma süresince ölçülen bulanıklık değerleri

Dört mevsim boyunca alınan örneklerde yapılan bulanıklık ölçümleri Şekil 4.7’de yer almaktadır. Yapılamayan ölçümler “0” kabul edilerek yıllık ortalamalara dahil edilmemiştir. Bu kapsamda; 2, 3, 4, 5 ve 12 no.lu istasyonlar yıllık ortalama bulanıklığın en düşük ölçüldüğü istasyonlardır. 1 no.lu istasyonda yıl boyunca bu parametre ölçülemediği görülmüştür. Özellikle Ankara Çayı’nı temsil eden 10 no.lu istasyon ile ana kol ile karıştıktan hemen sonrasını temsil eden 11 no.lu istasyonlar bulanıklık değerinin en yüksek olduğu istasyonlardır.

Dört mevsim boyunca tüm istasyonlarda ölçülen sülfat değerleri, dağılım profili olarak çok büyük farklılıklar göstermektedir (Şekil 4.8). Yaz mevsiminde 7, 8 ve 9 no.lu istasyonlarda en yüksek değerler ölçülmüş olup bu istasyonların yıllık ortalama sülfat derişimleri sırasıyla 298, 240 ve 301 mg/L olarak belirlenmiştir. Yıllık ortalama en düşük sülfat derişimi ise 2 no.lu istasyonda (120 mg/L) ölçülmüştür.

Amonyum değerleri, ilk yedi istasyonda tüm mevsimlerde nispeten düşük derişimlerde saptanmıştır (Şekil 4.9). Bu istasyonlar (1-7) sonbahar mevsiminde amonyum değerleri ölçülemediği görülmüştür. Dolayısıyla yıllık ortalama değerler bu noktalar için üç mevsim olarak hesaplanmıştır. Özellikle Porsuk Çayı’nın karışımından hemen

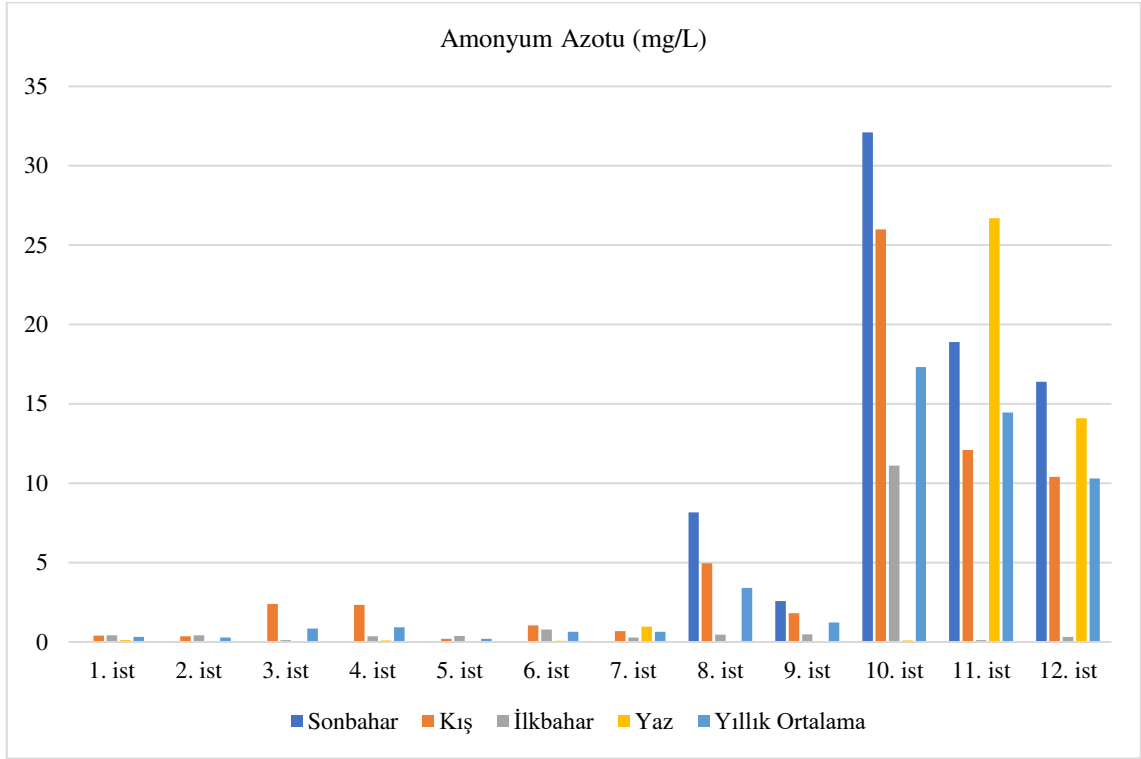
öncesini temsil eden 8 no.lu istasyondan itibaren, Sakarya Nehri'nin ana kolu üzerinde fark edilir derecede artmaya başlamış ve Ankara Çayı'nı temsil eden 10 no.lu istasyonda ise pik yapmıştır. Yıllık ortalamanın en yüksek olduğu (17,3 mg/L) istasyon burasıdır. Mansaba doğru, Ankara Çayı ile Sakarya Nehri karışımı sonrasında yer alan 11 ve 12 no.lu istasyonlar ise yıllık ortalamaların en yüksek ölçüldüğü diğer istasyonlardır (14,4 ve 10,3 mg/L).



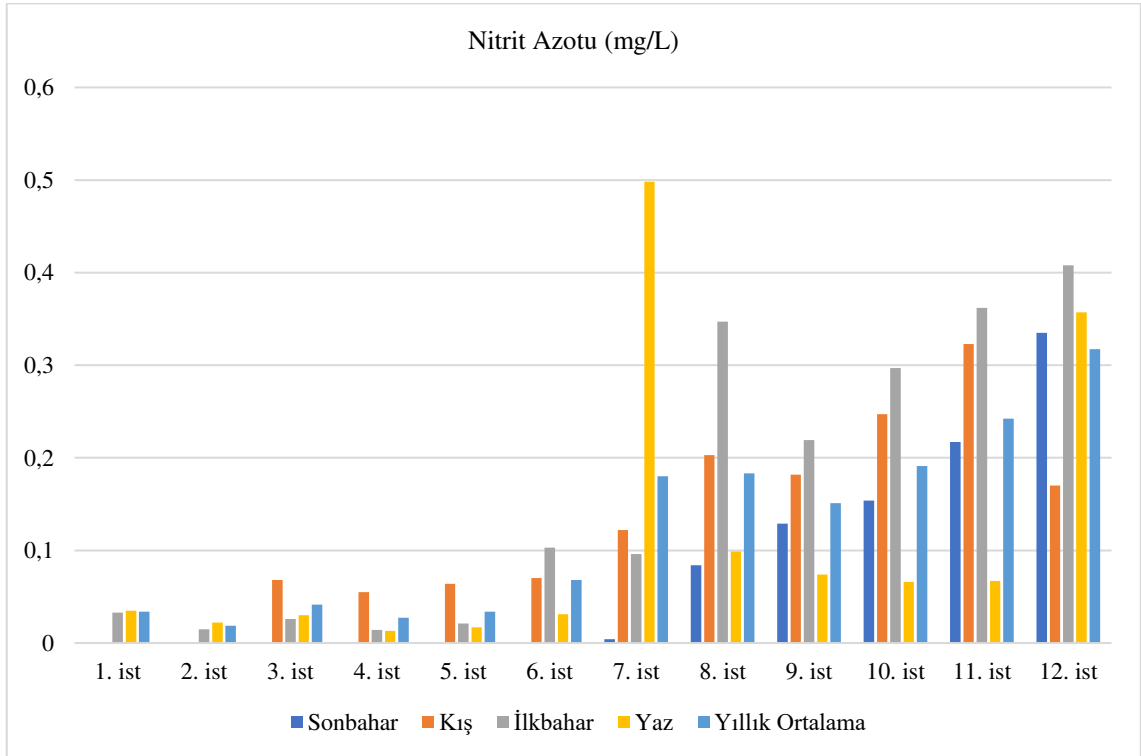
Şekil 4.8. Çalışma süresince ölçülen sülfat değerleri

Nitrit azotu değerleri, sonbahar mevsiminde ilk altı istasyonda ölçülememiştir. Dolayısıyla yıllık ortalamalarda bu istasyonlar için üç mevsimin ortalaması alınmıştır. Yaz mevsiminde 7 no.lu istasyonda çalışma boyunca ölçülen en yüksek nitrit derişimi (0,49 mg/L) ölçülmüştür (Şekil 4.10). Bu nokta nitrata karşı hassas alanlar içerisinde kalmaktadır (Görsel 3.4). Bu noktadan mansaba doğru ise yıllık ortalama değerlerin artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Nitrit parametresi bakımından en kirli istasyonun yıllık 0,31 mg/L ortalama ile 12 no.lu istasyon olduğu görülmektedir. Nitrat azotu değerlerinin hemen hemen tüm istasyonlarda yıl boyunca yakın değerlerde ölçüldüğü görülmektedir (Şekil 4.11). Ancak Porsuk Çayı'yla taşındığı düşünülen nitrat kirliliğinin 8 no.lu istasyonda tüm mevsimler ve yıllık ortalama bakımından en yüksek değere ulaştığı belirlenmiştir. Çalışma alanında yalnızca 5 ve 12 no.lu istasyonlar nitrata karşı hassas olmayan alanlarda yer almaktadır. Ancak özellikle 12 no.lu istasyonun nitrat kirliliği

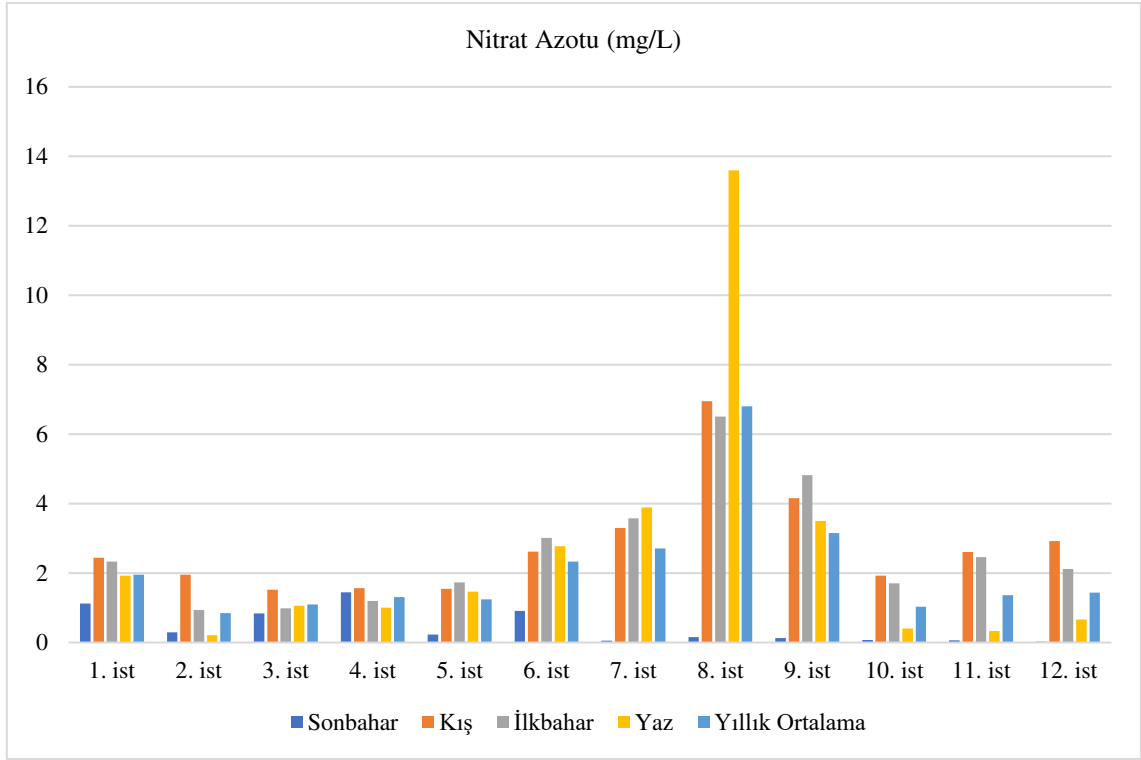
bakımından en yoğun kirliliğe sahip olması, civardaki tarım alanlarından ve özellikle Porsuk Çayı ve Ankara Çayı'yla taşınan nitrat kirliliğinin bir sonucudur.



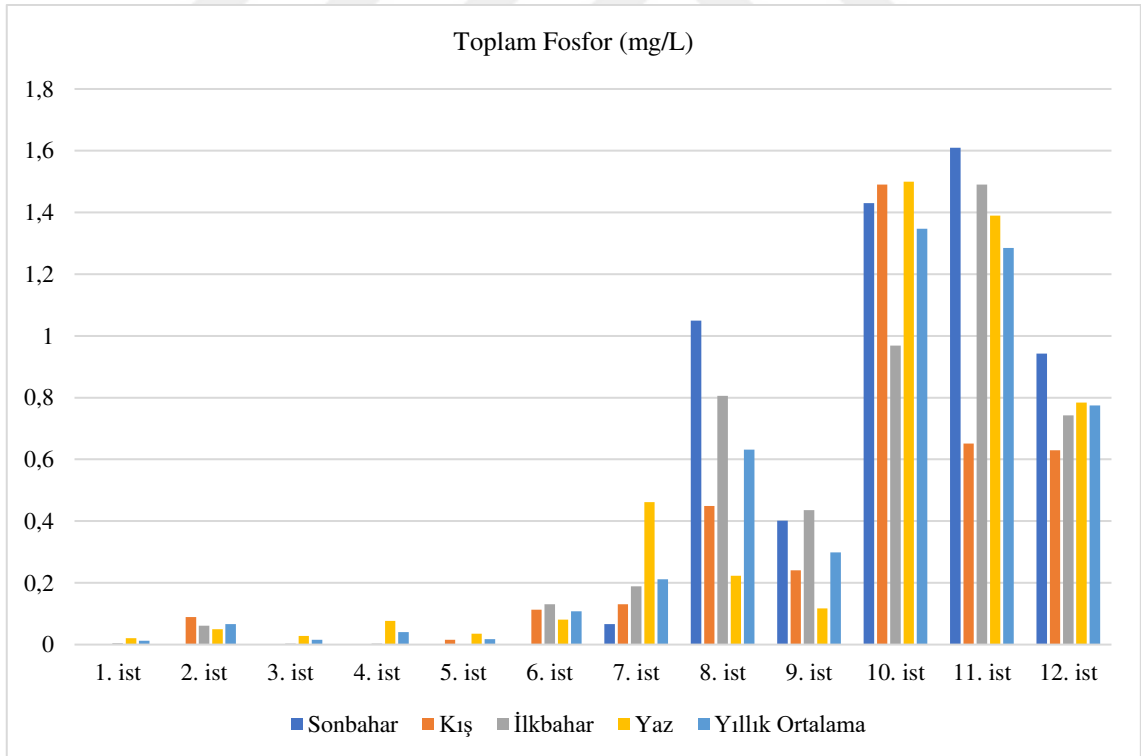
Şekil 4.9. Çalışma süresince ölçülen amonyum azotu değerleri



Şekil 4.10. Çalışma süresince ölçülen nitrit azotu değerleri



Şekil 4.11. Çalışma süresince ölçülen nitrat azotu değerleri

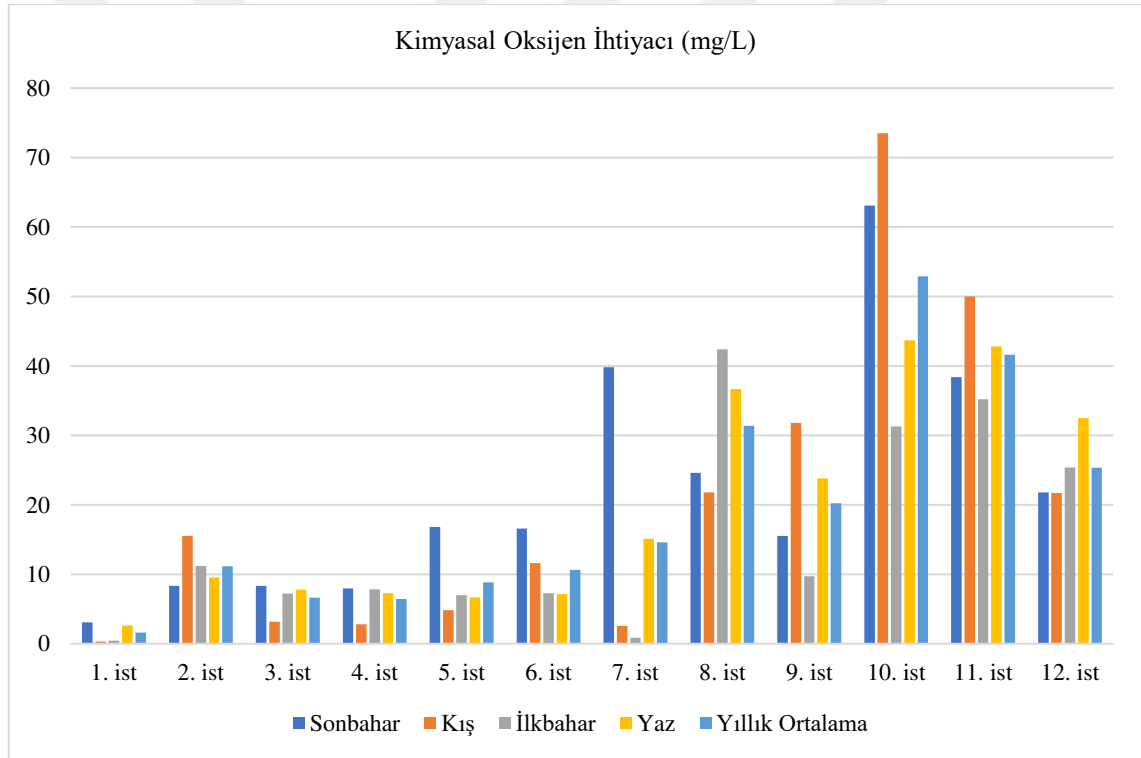


Şekil 4.12. Çalışma süresince ölçülen toplam fosfor değerleri

Toplam fosfor derişimleri yıl boyunca ilk beş istasyonda nispeten daha düşük seviyelerde ölçülürken, 6, 7, 8 ve 9 no.lu istasyonlarda yüksek; 10, 11 ve 12 no.lu

istasyonlarda ise çok yüksek seviyelerde ölçülmüştür (Şekil 4.12). Toplam fosforun yıllık ortalama bakımından pik yaptığı istasyon Ankara Çayı'nı temsil eden 10 no.lu istasyon (1,34 mg/L) olarak belirlenmiştir. Porsuk Çayı'nı temsil eden 8 no.lu istasyonda ise yıllık ortalamada yine fark edilir bir pik değer görülmektedir (0,6 mg/L).

Çalışma süresince tüm istasyonlarda ölçülen kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) değerinin yıllık ortalamada en yüksek ölçüldüğü istasyon 10 no.lu istasyondur (52,9 mg/L). Yine kış mevsiminde ve sonbahar mevsiminde çalışma boyunca ölçülen en yüksek değerler (73,5 mg/L ve 63,1 mg/L) bu istasyonda ölçülmüştür. Tüm istasyonlarda, KOİ değerleri düzensiz bir dağılım profili göstermiştir (Şekil 4.13). En düşük yıllık ortalama KOİ derişimi 1 no.lu istasyonda (1,6 mg/L) olarak ölçülmüştür.

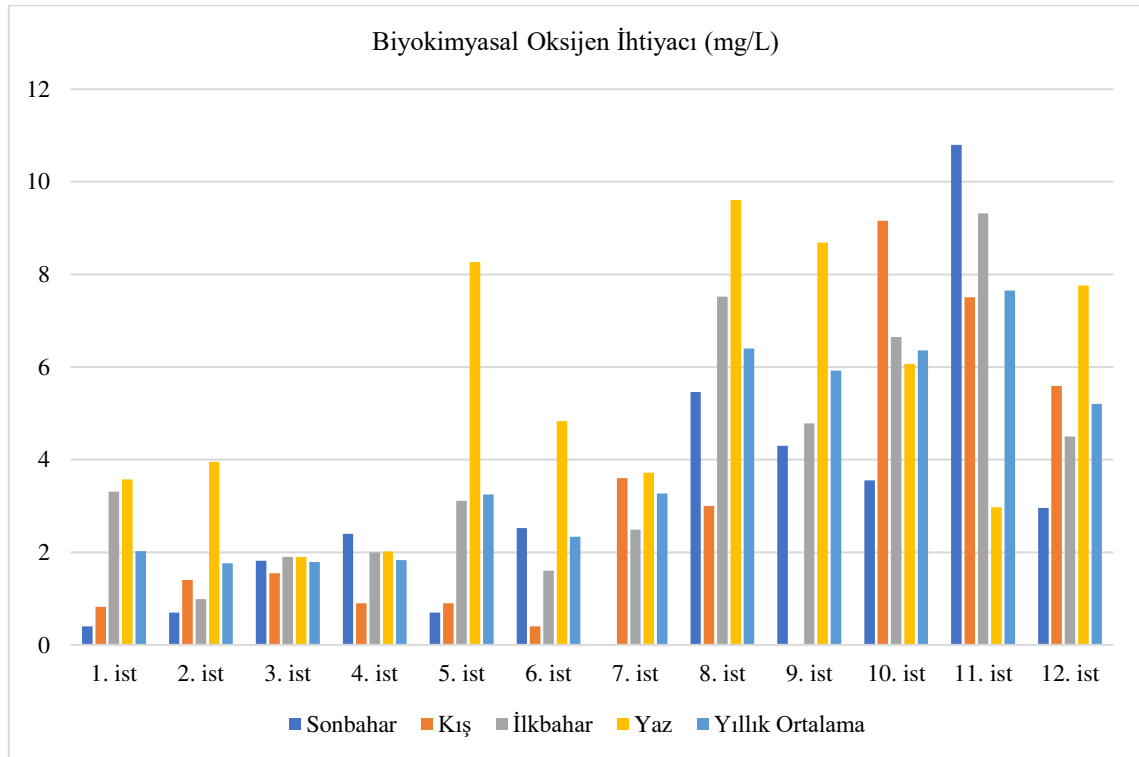


Şekil 4.13. Çalışma süresince ölçülen kimyasal oksijen ihtiyacı değerleri

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅), laboratuvarında 20 °C'de beş gün süreyle devam eden analiz çalışmasıyla belirlenmiştir (Şekil 4.14). Söz konusu parametre bakımından en kirli istasyonlar 8, 9, 10 ve 11 no.lu istasyonlardır. Bu kapsamda Ankara Çayı'nın ve Sakarya Nehri'nin toplam kirlilik yükünü temsil eden 11 no.lu istasyonda yıllık ortalama 7,65 mg/L BOİ₅ ölçülmüştür. Bu istasyonda sonbahar mevsiminde ölçülen 10,8 mg/L derişim ise çalışma boyunca ölçülen en yüksek BOİ₅ miktarıdır. Çalışmada

ölçülen en düşük yıllık ortalama BOİ₅ değerleri 2 ve 4 no.lu istasyonlarda (1,76 ve 1,83 mg/L) ölçülmüştür.

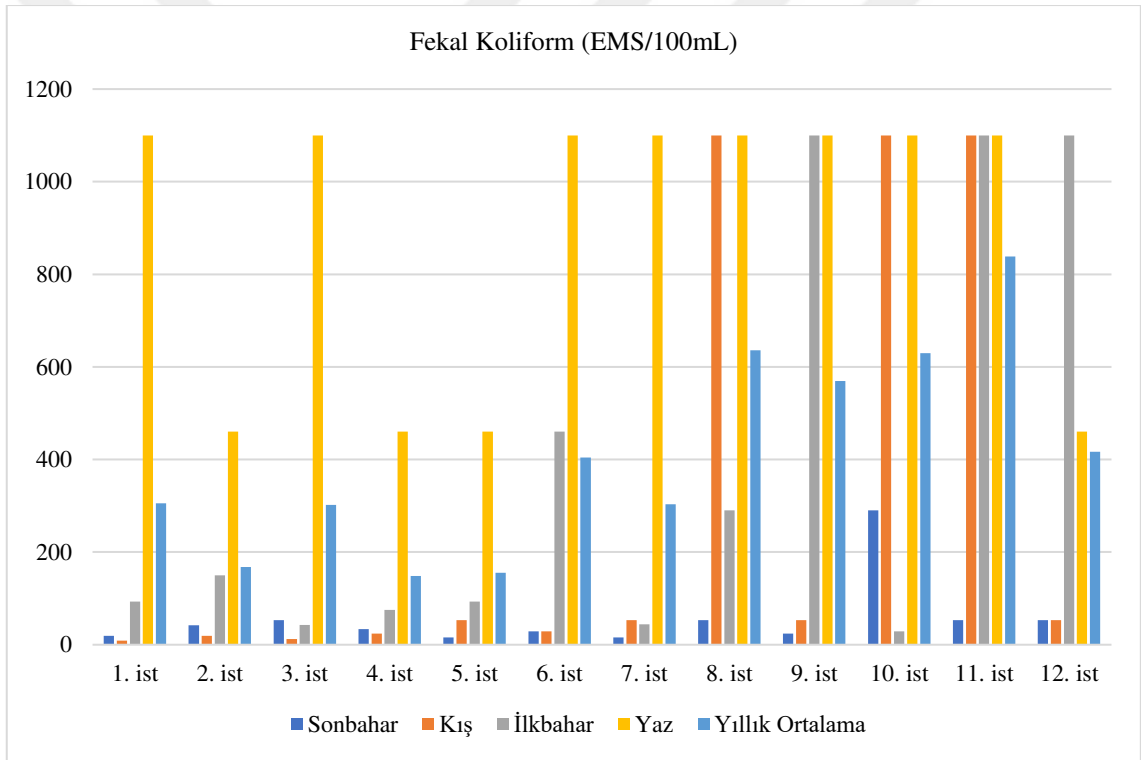
Çalışma süresince alınan numunelerde özellikle yaz mevsiminde (2, 4, 5 ve 12 hariç) tüm istasyonlarda fekal koliform varlığı pik seviyede tespit edilmiştir (Şekil 4.15). En yüksek ortalama fekal koliform sayısı sırasıyla 11 no.lu (838 EMS/100 mL), 8 no.lu (635 EMS/100 mL) ve 10 no.lu (629 EMS/100 mL) istasyonlarda tespit edilmiştir.



Şekil 4.14. Çalışma süresince ölçülen biyokimyasal oksijen ihtiyacı değerleri

Çelik ve Pülatsu (2003) tarafından Yukarı Sakarya Nehri’nde sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen, azotlu bileşikler (amonyak, nitrit ve nitrat), toplam demir ve silikat parametreleri izlenerek mevsime bağlı olarak su kalitesinde yaşanan değişimler araştırılmıştır. Araştırmacılar çalışmalarında özellikle azotlu bileşiklerden kaynaklı kirlilik ve etkileri üzerinde durmuşlardır. Araştırmacılar, Sakarya Nehri’nin membaından başlayarak yaklaşık 15 km.lik bir mesafede eşit aralıklarla belirlenen istasyonlardan dört mevsim boyunca numuneler alarak su kalitesi sınıflarını belirlemeye çalışmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda; en düşük amonyak derişimi sonbahar mevsiminde membaada 0,09 mg/L, en yüksek ise ilkbaharda membaadan 15 km uzaklıktaki 3. istasyonda 0,47 mg/L olarak bulunduğu, en düşük nitrit derişiminin kış mevsiminde

membraada 0,002 mg/L, en yüksek ise kış mevsiminde 3. istasyonda 0,035 mg/L olarak bulunduğu, en düşük nitrat değerinin ise kış mevsiminde membaadan 7 km uzaklıktaki 2. istasyonda 0,36 mg/L, en yüksek ise membaada ilkbahar mevsiminde 3,73 mg/L olarak bulunduğu bildirilmiştir. Amonyak ve nitrat parametrelerinin ilkbaharda yüksek olarak saptanmasının bölgede yoğun olarak bulunan tarım arazilerinden kaynaklandığı ifade edilmiştir. Akarsuyun bu bölümünün pH ve nitrat bakımından Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde verilen Kıtaçi Su Kaynakları Kalite Sınıfları'ndan 1. sınıf su kalitesinde olduğu belirtilmiştir. Yazarlar ayrıca, 3. istasyona çok yakın olan mahalle yerleşmesinden kaynaklanan evsel atıksuların alıcı ortamda kirletici etkisi oluşturduğunu vurgulamışlardır.



Şekil 4.15. Çalışma süresince ölçülen fekal koliform değerleri

Çalıklı (2002) tarafından Yukarı Sakarya Nehri'nde yapılan çalışmada, akarsuda fosfor fraksiyonları ve klorofil-a konsantrasyonlarının mevsimsel değişimini belirlemek amacıyla dört mevsim boyunca üç farklı istasyondan su numuneleri alınmıştır. Alınan numunelerde toplam fosfor (TF), toplam ortofosfat (TOF), toplam çözünmüş fosfor (TÇF) ve toplam çözünmüş ortofosfat (TÇOF) parametreleri incelenmiştir. Çalışma süresince, en yüksek ortalama TF ve TOF değerleri yaz ve sonbahar mevsiminde sırasıyla 304,5 ve 60,6 mg/m³ olarak tespit edilmiştir. En düşük değerler ise sonbahar ve ilkbahar

aylarında sırasıyla 104,6 ve 22,3 mg/m³ olarak saptanmıştır. Bununla birlikte, yaz mevsiminde en yüksek TÇF ve TÇOF değerleri 33,7 ve 26,6 mg/m³ bulunmuştur. Her iki değer de en düşük olduğu mevsimler ise ilkbahar ve sonbahar (12,7 ve 6,62 mg/m³) olarak bildirilmiştir.

Sharma vd. (2014) tarafından Hindistan’da Allahabad bölgesinde Ganj ve Yamuna nehirleri üzerinde bulunan sekiz noktada yapılan çalışmada, muson sonrası mevsiminde su numuneleri alınarak sıcaklık, pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen, toplam çözünmüş katı, Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, F⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, PO₄²⁻ ve alkalinite parametreleri analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Hindistan’ın ve Dünya Sağlık Örgütü’nün içme suyu standartlarıyla karşılaştırılmıştır. Suda araştırılan anyon ve katyonların tamamı, bahsedilen standartlarda verilen limit değerlerin altında saptanmıştır. Su kalitesi sınıfının ise “çok zayıf” ve “içilmeye uygun değil” olarak saptanmıştır. Yazarlar, Allahabad Bölgesi’ndeki Ganj Nehri’nde özellikle sodyum ve klorür iyonlarının yüksek olduğunu, bunun nedeninin ise evlerden kaynaklanan doğrudan deşarj ve sonu arıtmayla bitmeyen kanalizasyonların deşarj edilmesi olarak saptamışlardır.

Sakarya Havzası’nda Yaman Büyükbüberoğlu (2016) tarafından yapılan çalışmada, beş farklı istasyondan dört mevsim süresince (Mart, Ağustos ve Kasım 2015 ile Şubat 2016) numuneler alınarak askıda katı madde, BOİ, KOİ, TOK, bulanıklık, iletkenlik, pH, çözünmüş oksijen, alkalinite, sertlik, ağır metaller, fekal ve toplam koliform ile diğer bazı parametreler ölçülerek bu kirleticilerin arıtım yöntemleri araştırılmıştır. Belirlenen beş istasyondan ilki Çifteler ilçesinde bulunan ve Yukarı Sakarya Nehri’nin de membaı olan Sakaryabaşı mevkiindedir. Bu istasyonda yapılan çalışmalarda; elde edilen sonuçlar Ek-2’de yer almaktadır. Buna göre, Yaman Büyükbüberoğlu (2016) tarafından 2015-2016 yılları arasında yapılan çalışma ile bu tez kapsamında 2018-2019 yılları arasında aynı istasyonda yapılan çalışmalarda elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Buna göre, yıllık ortalama değerlerin sıcaklık, çözünmüş oksijen, pH, iletkenlik, sülfat ve BOİ parametrelerinde her iki çalışmada da çok yakın değerlerde saptandığı; nitrat, KOİ ve fekal koliform parametrelerinde ise büyük farklılıklar olduğu anlaşılmıştır.

Yücel, Doğan ve Öztürk (1995) tarafından Yukarı Sakarya Nehri’nin en önemli kollarından birisi olan Porsuk Çayı’nda yapılan araştırmada, akarsuyun membaından başlayarak mansabına doğru yaklaşık 180 km.lik bir hat boyunca akarsu üzerinde yetişen

bitkilerde ve alınan toprak numunelerinde ağır metal varlığı araştırılmıştır. Araştırmacılar, Porsuk Çayı'nın membaından başlayarak Eskişehir ili çıkış noktasında yer alan son istasyona kadar özellikle Cd ve Cu derişimlerinin anlamlı seviyelerde arttığını tespit etmişlerdir. Söz konusu parametreler için Dünya Sağlık Örgütü'nce verilen sınır değerlerin aşıldığı belirlenmiştir. Araştırmacılar, Porsuk Çayı'nın yerleşim yerleri için içme ve kullanma suyu olarak kullanılmasının terkedilerek yeni alternatif kaynaklar bulunmasını önermişlerdir.

Canbek vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada, Porsuk Çayı'nda seçilen 11 istasyonda su ve balık örnekleri alınmıştır. Alınan numunelerde çeşitli ağır metaller (Pb, Cd, Ni, Zn, Fe, Cr ve Mn) ile fizikokimyasal parametreler incelenmiştir. Alınan numunelerde sıcaklık değerinin 12-23,8 °C; pH değerinin 7,7-8,8 ve çözünmüş oksijen değerinin ise 0,55-11,82 mg/L arasında değişmekte olduğu raporlanmıştır. Su örneklerinde saptanan ağır metaller ise birikim oranlarına göre Zn > Mn > Fe > Ni > Pb > Cd > Cu > Cr şeklinde sıralanmıştır. Alınan balık örneklerinde tespit edilen ağır metal seviyelerinin limitlerin altında olduğu belirtilmiş olup Porsuk Çayı havzasında yürütülen tarımsal aktivitelerin ve kontrolsüz evsel atıksu deşarjlarının gelecekte su kalitesinde olumsuz etki oluşturabileceği ifade edilmiştir.

Köse vd. (2015) tarafından Porsuk Çayı'nda yapılan araştırmada, akarsu boyunca belirlenen 8 istasyondan mevsimsel olarak su, sediment ve balık örnekleri alınarak Zn, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb ve As ağır metal derişimleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, Porsuk Çayı'nın Kütahya ve Eskişehir illerinden kaynaklı inorganik kirlilikten ciddi oranda etkilendiği ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde tanımlanan IV. sınıf su kalitesinde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Porsuk Baraj Gölü'nün akarsu üzerinde önemli bir temizleme kapasitesi olduğu, baraj çıkışında su kalitesinin yükseldiği raporlanmıştır. Köse vd. (2015) tarafından belirlenen 8. istasyon ile bu tez çalışması kapsamında belirlenen 8 no.lu istasyonlar birbirlerine çok yakın mesafede bulunmaktadır.

Köse, Tokatlı ve Çiçek (2014) tarafından Sakarya Nehri'nin önemli alt kollarından birisi olan Seydisuyu Deresi'nde yapılan çalışmada bir yıl boyunca akarsu üzerinde bulunan bir istasyondan su numuneleri alınarak bazı fizikokimyasal (sıcaklık, iletkenlik, tuzluluk, toplam çözünmüş katı, pH, yükseltgenme-indirgenme potansiyeli, çözünmüş

oksijen ve nitrat) ve kimyasal (bor ve arsenik) parametreler araştırılmıştır. Çalışma yapılan istasyon ile bu tez çalışmasındaki 2 no.lu istasyon arasında mansaba doğru yaklaşık 25 km. mesafe vardır. Araştırmacılar 2011-2012 sezonu boyunca her ay 10 numune almışlardır. Aylık ortalama değerler mevsimsel bazda ortalamalara dönüştürüldüğünde; Seydisuyu Nehri'nde sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde ortalama çözünmüş oksijen derişimleri sırasıyla; 7,31, 9,45, 8,14 ve 6,41 mg/L olarak tespit edilmiştir. Yine aynı çalışmada ölçülen ortalama nitrat derişimleri sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimleri için sırasıyla 2,04, 4,27, 3,01 ve 5,56 mg/L olarak belirlenmiştir.

Büyükerşen ve Efelerli (2006) tarafından Porsuk Çayı'nın Kütahya il sınırlarına girmeden önce Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde tanımlanan I. Sınıf Su kalitesinde olduğu, Kütahya ili sınırlarından çıktıktan sonra III. ve IV. Sınıf Su kalitesine gerilediği, Porsuk Baraj Gölü'nde su kalitesinin bir miktar artarak II. ve I. Sınıf Su kalitesine eriştiği, son olarak Eskişehir ili çıkışında akarsuyun kalitesinin yeniden IV. Sınıf Su kalitesine gerilediği ifade edilmektedir. Araştırmacılar, söz konusu su kaynağından yapılan teminlerde ve su kullanımında, ilgili tüm mevzuat hükümlerine uyulması gerektiğini vurgulamışlardır.

4.2. Su Kalitesi İndeksi Hesaplamaları

Çalışma kapsamında üç farklı indeks kullanılarak su kalitesi değerleri hesaplanmıştır. Çalışma süresince ölçülen parametreler, indekslerin ihtiyacına göre seçilerek kullanılmıştır.

4.2.1. Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeksi'ne Göre Değerlendirme

Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeksi'nin hesaplanması için gerekli olan parametreler, sıcaklık değişimi, pH, bulanıklık, fekal koliform, çözünmüş oksijen doygunluğu (%), biyokimyasal oksijen ihtiyacı, toplam fosfor, nitrat ve toplam katı madde olmak üzere toplam dokuz adettir. Her bir parametre için sonuca ne derece etki edeceğini belirleyen bir ağırlık katsayısı atandığından, ölçümü yapılmayan parametrelere ait toplam ağırlığın diğer mevcut parametrelere dağıtılması gereklidir.

Yapılan çalışmada sıcaklık farkı ve toplam katı madde parametreleri ölçülmediğinden bu iki parametreye ait toplam etki faktörü, diğer parametrelere dağıtılmış ve uyarlanmış. Bunun için önce sıcaklık değişimi ve toplam katı madde parametreleri için verilen ağırlık değerleri, orijinal ağırlık faktörü toplamından (1) çıkartılmıştır (4.1).

$$1 - (0,1 + 0,07) = 0,83 \quad (4.1)$$

Dolayısıyla kullanılacak parametrelerin yeni etki değerleri toplamı 0,83'tür. Her bir parametrenin sıcaklık değişimi ve toplam katı madde parametreleri çıkartıldıktan sonraki yeni ağırlık faktörünü hesaplamak ve ağırlık değerleri toplamını yine 1 yapabilmek için Denklem 4.2'deki hesaplama her bir parametre için ayrı ayrı yapılır.

$$W_{\text{Çöz.ünmüş Oksijen}\%} = \frac{\text{Orijinal ağırlık faktörü}}{\text{Uyarlanmış yeni toplam}} = \frac{0,17}{0,83} = 0,204 \quad (4.2)$$

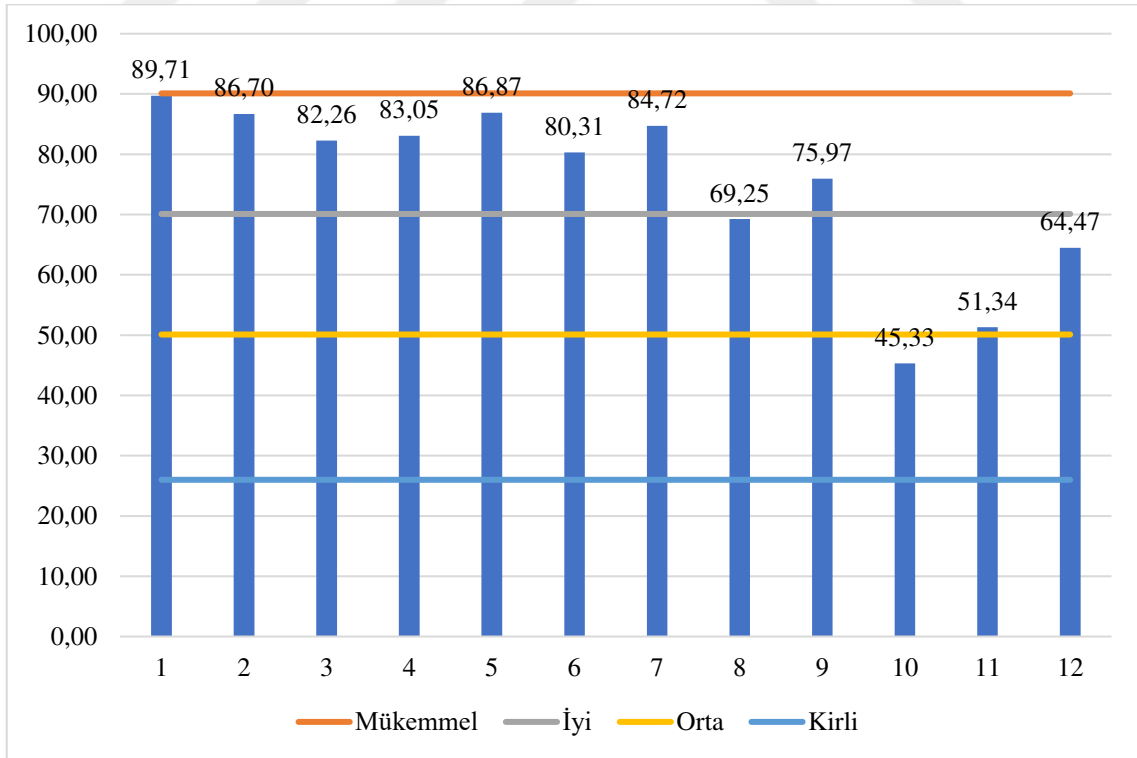
Denklem 4.2'de yapılan işlemin her parametre için ayrı ayrı yapılması sonucu elde edilen yeni (uyarlanmış) ağırlık faktörleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan yedi parametre için uyarlanmış ağırlık faktörleri

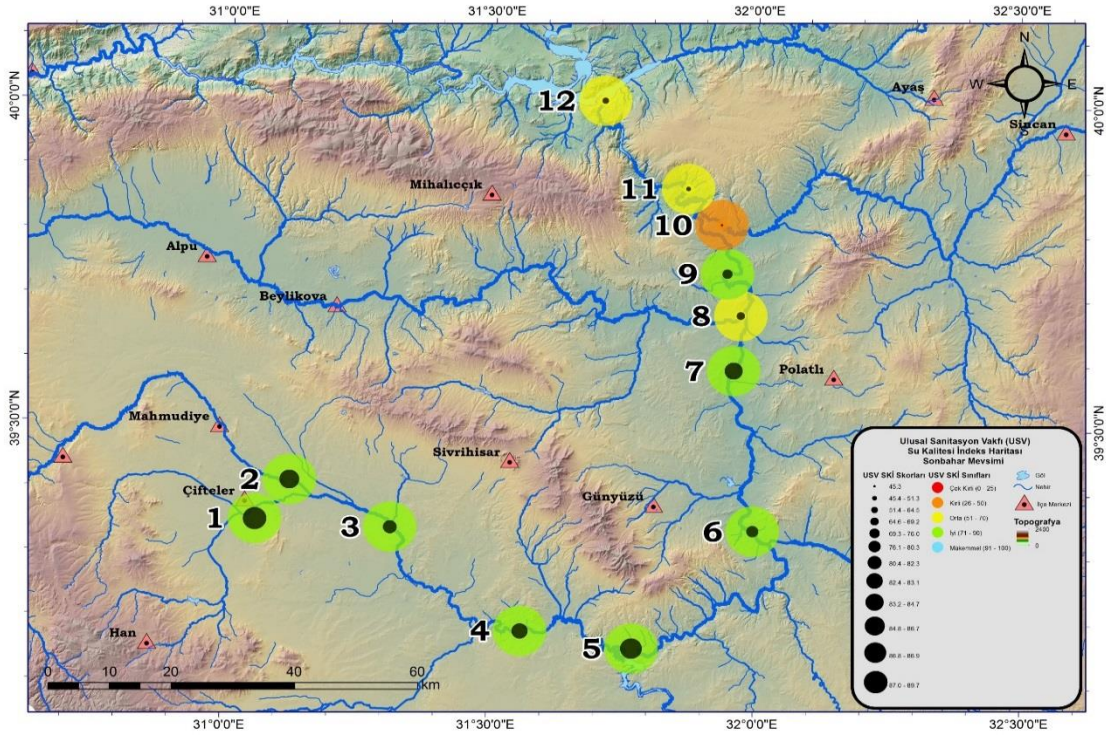
Sayı	Parametreler	Orijinal Ağırlık Faktörü (Wi)	Uyarlanmış Ağırlık Faktörü (Wi)
1	Çöz. Oks. Doyg.	0,17	0,205
2	Fekal Koliform	0,16	0,193
3	pH	0,11	0,133
4	BOİ	0,11	0,133
5	Sıcaklık Değişimi	0,1	-
6	Nitrat	0,1	0,120
7	Toplam Fosfor	0,1	0,120
8	Bulanıklık	0,08	0,096
9	Toplam Katı Madde	0,07	-
	Toplam	1	1

Çizelge 4.1'teki uyarlanmış ağırlık faktörlerinin, elde edilen analiz sonuçlarına karşılık gelen Q değerleriyle (Şekil 2.1-2.9'dan bulunan) çarpılarak toplanması sonucunda elde edilen skora göre her mevsim için istasyon bazlı su kalite indeksleri belirlenmiştir.

Bu kapsamda; 17-18 Kasım 2018 tarihinde, sonbahar mevsiminde 12 istasyondan alınan numunelerin analiz edilmesi sonucunda; membadan mansaba 1 ile 9 no.lu istasyon arasındaki tüm istasyonlarda su kalitesi “İYİ” olarak belirlenmiştir (Şekil 4.16). Ancak 8 no.lu istasyonda Eskişehir şehir merkezindeki kirlilik yükünü taşıyan Porsuk Çayı’nda su kalitesi bir üst sınıfa çok yakın olarak “ORTA” olarak (69,24 skor) belirlenmiştir. Hemen devamındaki 9 no.lu istasyonda da su kalitesi “İYİ” olarak kalmış ancak Ankara ilinden gelen kirlilik yükünü taşıyan 10 no.lu istasyonda su kalitesinde yine bir düşüş yaşanarak “KİRLİ” olarak belirlenmiştir. 10 no.lu istasyon oksijen doygunluğunun ve çözünmüş oksijen derişiminin en düşük olarak belirlendiği istasyondur (%2,6 ve 0,26 mg/L). Yine fekal kirlenmenin en yoğun ölçüldüğü istasyon da burasıdır (290 EMS/100mL). Ankara Çayı’nın taşıdığı kirlilik yükünün Sakarya Nehri ile karıştığı 11 no.lu istasyon, akarsu Sarıyar Barajı’na ulaşmadan önceki son istasyondur. Burada da su kalitesi “ORTA” olarak belirlenmiştir. Son olarak Sarıyar Barajı’nın hemen giriş kısmında bulunan 12 no.lu istasyonda da su kalitesi “ORTA” kalitede belirlenmiştir. Son iki istasyon, yaklaşık 20 km.lik bir hat üzerinde yer almaktadır ve mesafeye bağlı olarak su kalitesi değişmeden kalmıştır.



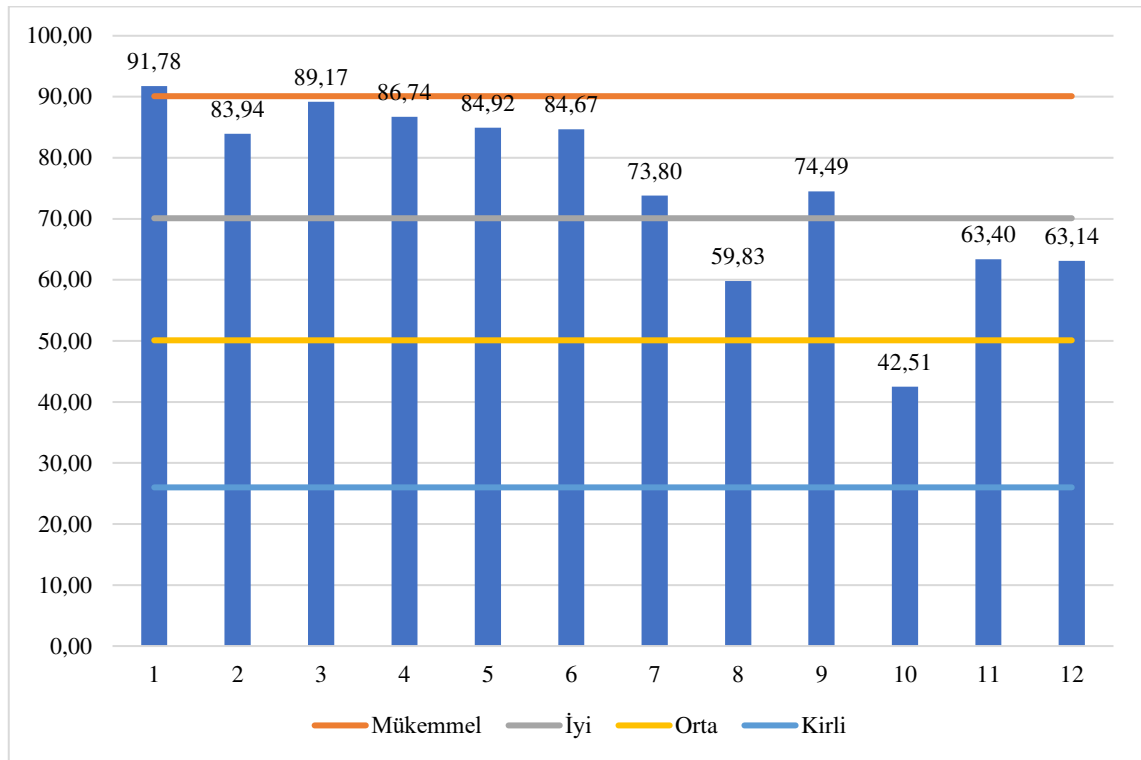
Şekil 4.16. Sonbahar mevsimi için NSF-WQI değerleri



Görsel 4.1. NSF-WQI için sonbahar mevsimi değerleri

Kış mevsiminde ise 19 ve 22 Şubat 2019 tarihlerinde tüm istasyonlardan numuneler alınmıştır. İstasyonlar arasındaki kalite sınıfı farklarının en değişken olduğu mevsim bu mevsimdir (Şekil 4.17). Membada yer alan 1 no.lu istasyonda su kalitesi “MÜKEMMEL” sınıfta belirlenmiştir. Çalışma boyunca su kalitesinin “MÜKEMMEL” olarak belirlendiği tek istasyon kış mevsimindeki 1 no.lu istasyondur. Yine bu mevsimde, membadan itibaren 2 no.lu istasyondan 7 no.lu istasyona kadar olan noktalarda su kalitesi “İYİ” olarak belirlenmiştir. Sonbahar mevsiminde olduğu gibi bu mevsimde de kalite düşüşü Porsuk Çayı’nı temsil eden 8 no.lu istasyonda başlamıştır. Bu istasyonda su kalitesi “ORTA” olarak belirlenmiştir. Özellikle bulanıklık değerinin yüksek olması (92,53 NTU) bu istasyonda ve devamındaki istasyonlardaki kalite düşüşünde rol oynamaktadır. Porsuk Çayı’nın Sakarya Nehri ile karışımını temsil eden 9 no.lu istasyonda su kalitesi “İYİ” olarak yükselmiş olsa da Ankara Çayı’nı teşmil eden 10 no.lu istasyonda su kalitesi bir önceki mevsime göre daha da düşerek “KİRLİ” olarak hesaplanmıştır. Ankara Çayı karışımı sonrasını temsil eden 11 no.lu istasyon ve son istasyon olan 12 no.lu istasyonda ise su kalitesi “ORTA” sınıfta kalabilmiştir. Özellikle 8 no.lu istasyonun karışımından itibaren su kalitesinin düşmeye başlaması, öncelikle en önemli iki baskı noktalarının 8 ve 10 no.lu istasyonlardan sonra bağlanıyor olmasının sonucudur. Kış mevsiminde, kentsel kirlilik baskısından uzak kalan membada daha yakın istasyonlarda su kalitesi bir önceki

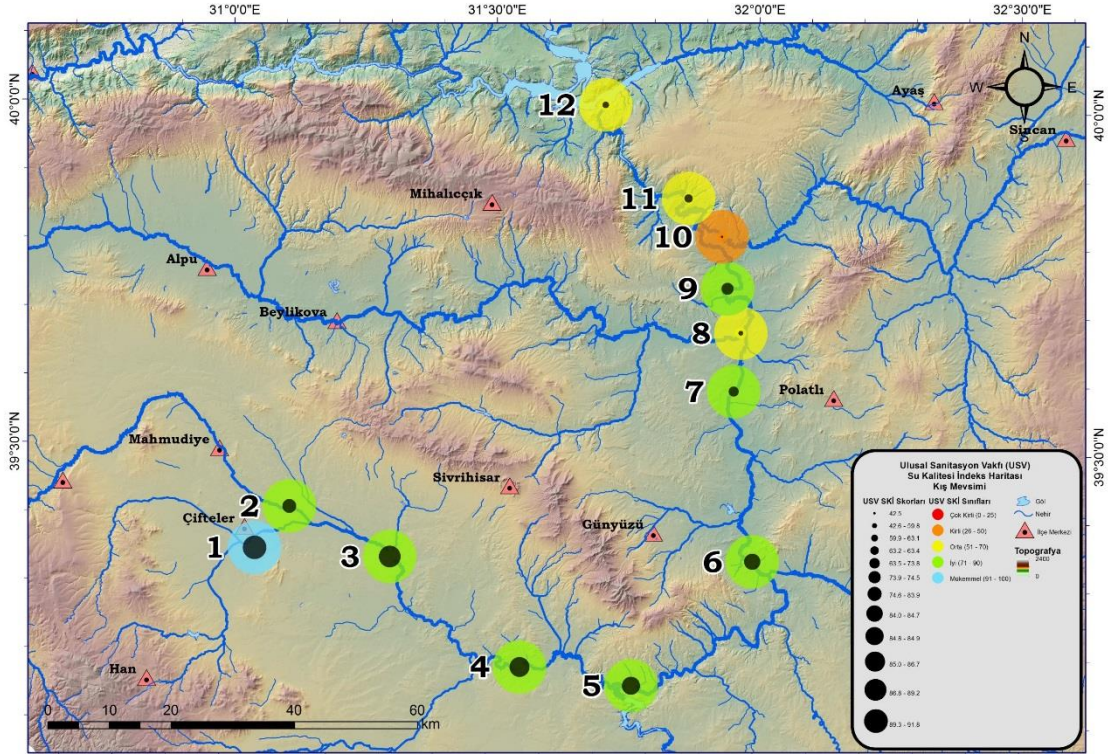
mevsime göre bir miktar daha iyi ölçülmüştür. Bu durum mevsimsel yağışlar sayesinde kirleticilerin bu noktalarda seyretmesiyle açıklanabilmektedir. Ancak özellikle 8 ve 10 no.lu istasyonlarda yine mevsimsel akışlara bağlı olarak taşınan kirleticilerin derişiminin arttığı söylenebilir. Özellikle kış mevsiminde Eskişehir ilinde Porsuk Çayı’yla taşınan kirliliğin yoğunluğu, şehirdeki yağmur suyu hattı ve kanalizasyon hattının birlikte olması nedeniyle açıklanabilir. Artan atıksu debisi nedeniyle, Porsuk Çayı’nı alıcı ortam olarak kullanan atıksu arıtma tesisinde bir miktar kirlilik yükü artırılmadan ulaşabilmektedir.



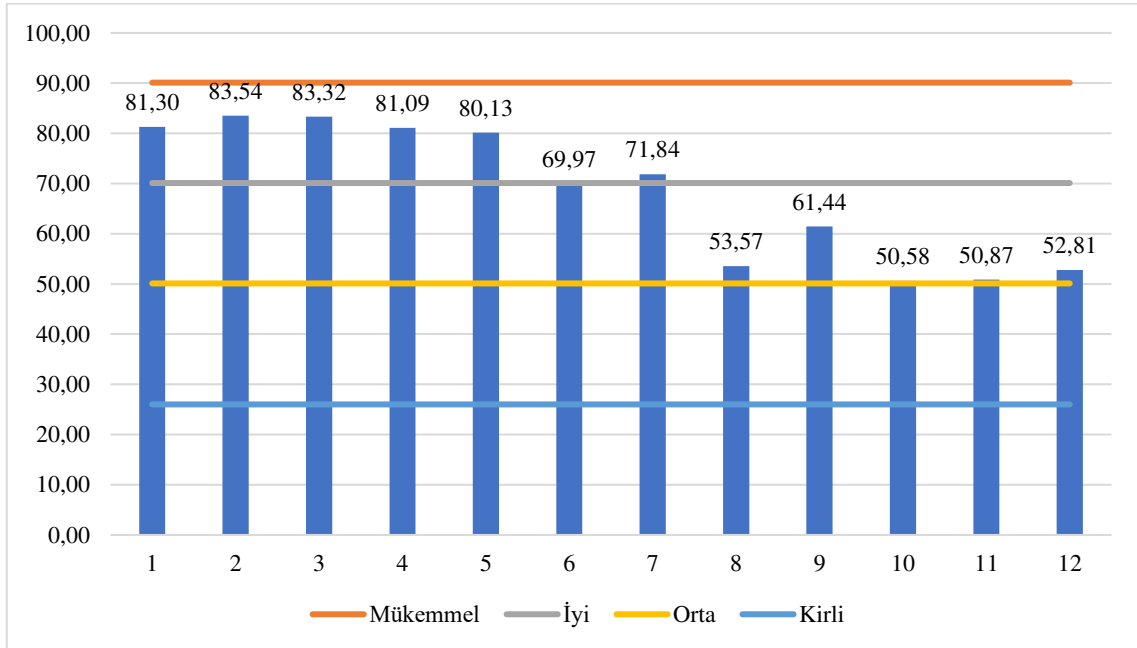
Şekil 4.17. Kış mevsimi için NSF-WQI değerleri

19 ve 20 Nisan tarihlerinde ilkbahar mevsimini temsil edecek şekilde yapılan arazi çalışmalarında alınan su numuneleri analiz edilerek parametre değerlerinin indekste işlenmesi sonucunda mambadan mansaba ilk beş istasyonda su kalitesi “İYİ” olarak belirlenmiştir (Şekil 4.18). Devamında 6 no.lu istasyonda ise su kalitesi “ORTA” sınıfta kalmıştır. Bu istasyonda 108,9 NTU ölçülen bulanıklık değerinin bu sonuçta etkisi büyüktür. 8 no.lu istasyondan mansaba doğru 12 no.lu istasyona kadar su kalitesi düşüş göstererek “ORTA” kalitede belirlenmiştir. Bu mevsimde Porsuk Çayı’nın taşıdığı kirlilik yükünün özellikle nitrat ve kimyasal oksijen ihtiyacı olarak arttığı görülmektedir. Tüm istasyonlar arasında ölçülen en yüksek KOİ değeri 8 no.lu istasyonda (42,4 mg/L) ölçülmüştür. Benzer şekilde, Ankara ilinden gelen kirlilik yükünü taşıyan 10 no.lu

istasyonda ve karışım sonrasında temsil eden 11 no.lu istasyon boyunca su kalitesinin iyileşmediği ve “ORTA” kalitede olduğu belirlenmiştir. İndeks skorunun en düşük olduğu istasyon da 10 no.lu istasyon olarak belirlenmiştir (50,58).

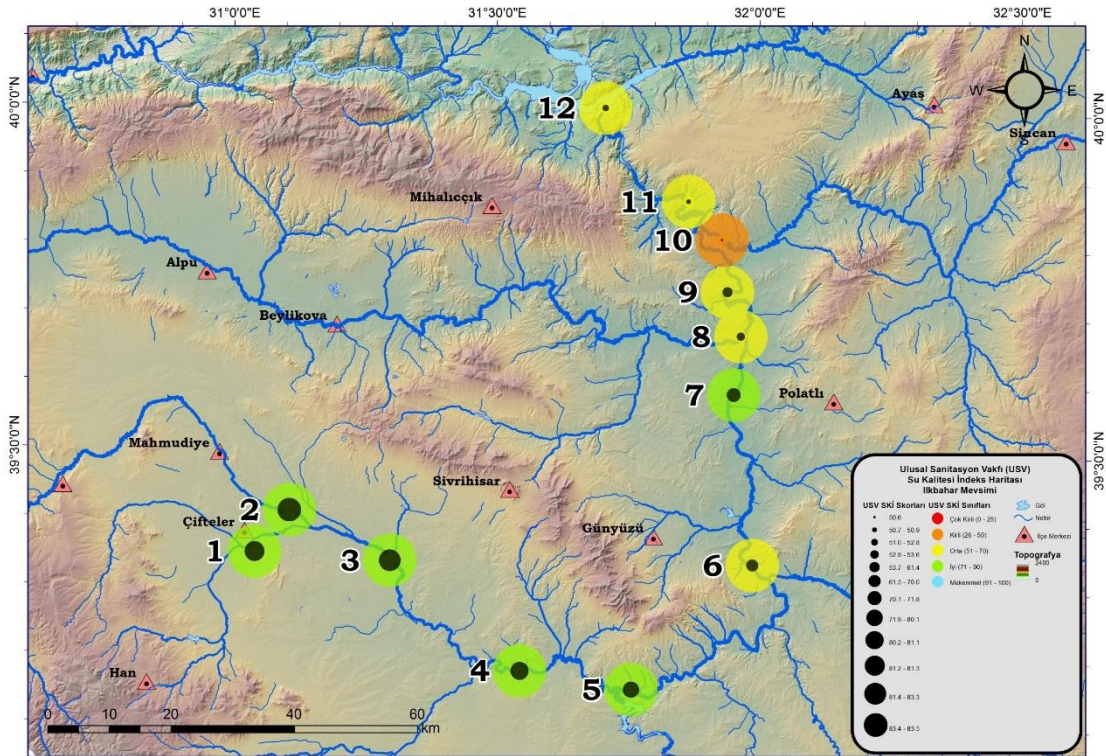


Görsel 4.2. NSF-WQI için kış mevsimi değerleri

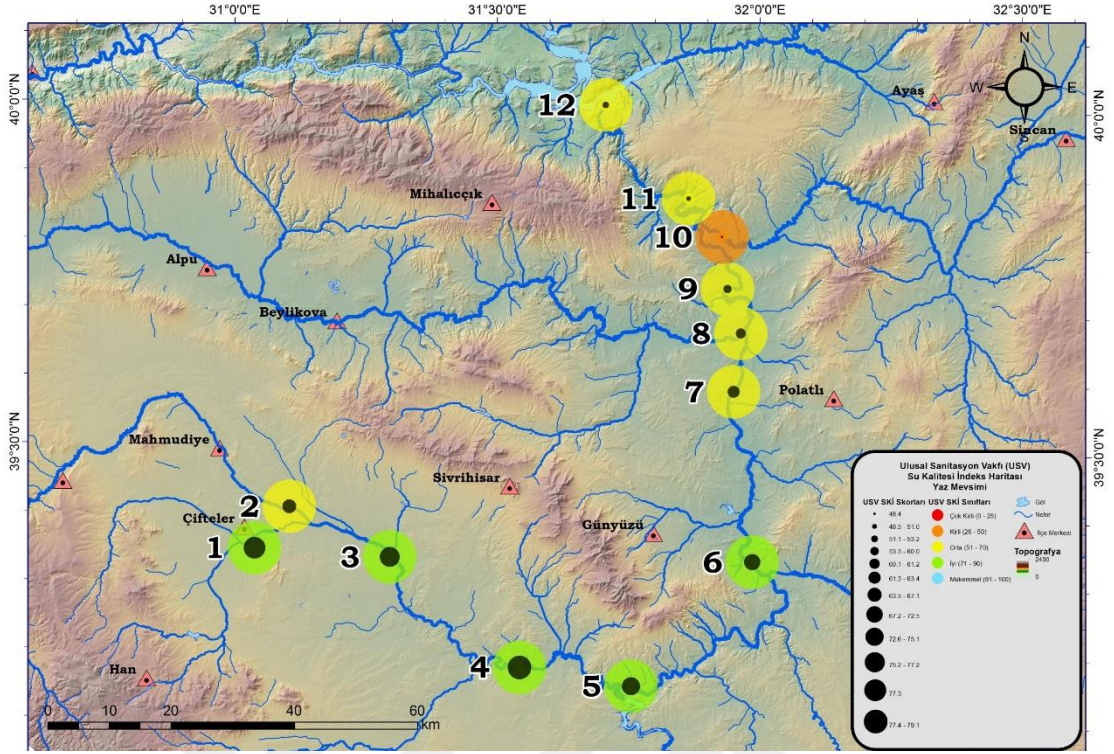


Şekil 4.18. İlkbahar mevsimi için NSF-WQI değerleri

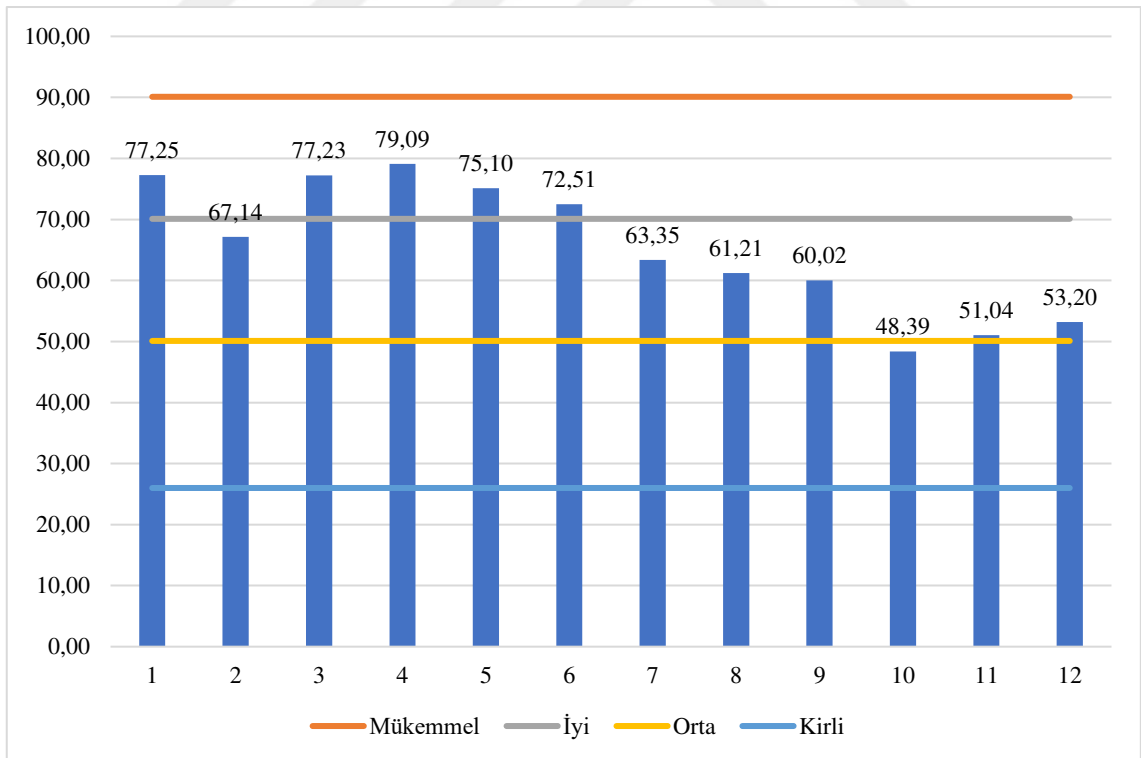
6 ve 7 Temmuz 2019 tarihlerinde gerçekleştirilen yaz mevsimi çalışmaları kapsamında, 12 istasyondan su numuneleri alınmıştır. Çalışma boyunca belirlenen en düşük su kaliteleri bu mevsimde belirlenmiştir (Şekil 4.19). 1 ve 3 no.lu istasyonlarda su kalitesi “İYİ” olarak belirlenmiştir. Diğer mevsimlerden farklı olarak, bu mevsimde Seydisuyu Deresi’nin kirlilik yükünü temsil eden 2 no.lu istasyonda su kalitesi “ORTA” olarak belirlenmiştir. Bu dikkat çekici bir durumdur. Çünkü bu mevsimde ilk defa bu ilk üç istasyonda yoğun fekal kirlenme tespit edilmiştir. Membada bu kirlenmenin tespit edilmesi bu bölgede yürütülen rekreasyon faaliyetleriyle açıklanabilir. Benzer şekilde bu mevsimde tüm istasyonlarda fekal kirlenmenin en yoğun olduğu görülmektedir. Bu mevsimde 4, 5 ve 6 no.lu istasyonlarda su kalitesi “İYİ” olarak belirlenmiştir. Ancak 7 no.lu istasyondan itibaren su kalitesi azalarak “ORTA” seviyeye gerilemiştir. 7, 8, 9, 11 ve 12 no.lu istasyonlarda su kalitesi “ORTA” sınıfta belirlenmiştir. Ancak Ankara Çayı’nın taşıdığı kirlilik yükünü temsil eden 10 no.lu istasyon bu mevsimde “KİRLİ” sınıfta belirlenmiştir.



Görsel 4.3. NSF-WQI için ilkbahar mevsimi değerleri



Görsel 4.4. NSF-WQI için yaz mevsimi değerleri



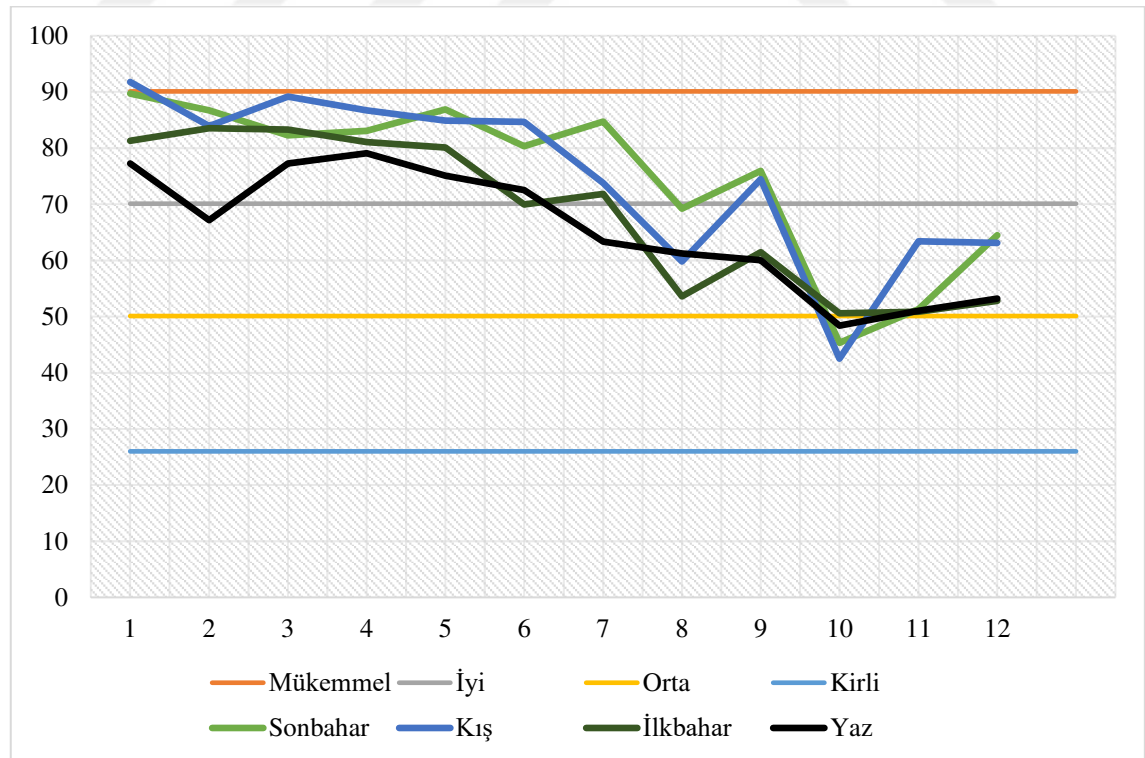
Şekil 4.19. Yaz mevsimi için NSF-WQI değerleri

Tüm mevsimlere ait su kaliteleri incelendiğinde NSF-WQI bakımından üç mevsimde (sonbahar, kış ve yaz) KİRLİ sınıfta belirlenen 10 no.lu istasyon, çalışma

alanının en kirli istasyonu olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.20). Yine üç mevsimde (sonbahar, ilkbahar ve yaz) İYİ kalite sınıfında, kış mevsiminde ise MÜKEMMEL kalite sınıfında belirlenen 1 no.lu istasyon en temiz istasyon olarak belirlenmiştir. Bu istasyonun akarsuyun membaı olması bu sonuçta etkilidir. Ancak 1 no.lu istasyonda özellikle yaz mevsiminde çok yüksek oranda fekal kirlilik tespit edilmesi bu rekreasyon alanı olarak da kullanılan bu bölgeye kanalizasyon sularının girişimi olduğu olarak yorumlanmaktadır. Bu husus dikkat edilmesi gereken bir durumdur.

Çizelge 4.2. Her istasyonun mevsimsel bazda NSF-WQI kalite sınıfları

İstasyon Adı	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
1 no.lu İstasyon	İYİ	MÜKEMMEL	İYİ	İYİ
2 no.lu İstasyon	İYİ	İYİ	İYİ	ORTA
3 no.lu İstasyon	İYİ	İYİ	İYİ	İYİ
4 no.lu İstasyon	İYİ	İYİ	İYİ	İYİ
5 no.lu İstasyon	İYİ	İYİ	İYİ	İYİ
6 no.lu İstasyon	İYİ	İYİ	ORTA	İYİ
7 no.lu İstasyon	İYİ	İYİ	İYİ	ORTA
8 no.lu İstasyon	ORTA	ORTA	ORTA	ORTA
9 no.lu İstasyon	İYİ	İYİ	ORTA	ORTA
10 no.lu İstasyon	KİRLİ	KİRLİ	ORTA	KİRLİ
11 no.lu İstasyon	ORTA	ORTA	ORTA	ORTA
12 no.lu İstasyon	ORTA	ORTA	ORTA	ORTA



Effendi, Romanto ve Wardiatno (2015) tarafından Endonezya’da bulunan Ciambulawung Nehri’nde yapılan çalışmada NSF-WQI kullanılarak nehir su kalitesinin belirlenmesi ve akarsu üzerinde bulunan hidroelektrik santrali, civarda yapılan tarımsal faaliyetler ile insan aktivitelerinin su kalitesine olan etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Yağışlı sezonda üç farklı zamanda numuneler alınmıştır. Çalışmada fekal koliform parametresi alınmadığı için indeks modifiye edilmiş ve kalan 8 parametre için ağırlıklar yeniden belirlenmiştir. Bu kapsamda, üç istasyonda sırasıyla 87, 87 ve 88 kalite puanlarıyla iyi sınıfta su kalitesi belirlenmiştir.

Ewaïd (2017) tarafından Irak’ta bulunan ve Fırat ile Dicle nehirlerini birleştiren El-Garraf (Şattülhay) kanalında yapılan çalışmada, kanal boyunca belirlenen 10 istasyonda toplam 13 adet parametre (BOİ, çözünmüş oksijen, nitrat, toplam fosfat, sıcaklık, bulanıklık, bulanıklık, toplam katı madde, pH, fekal koliform, Cd, Ni, Pb ve Zn) izlenerek NSF-WQI ve Ağır Metal Kirlilik İndeksi’ne (Heavy Metal Pollution Index – HPI) göre su kaliteleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda özellikle HPI değerinin, içme suyu kalitesi için alt sınır olan 100’e çok yakın olduğu (98,6) ve NSF-WQI değerinin ise 61-70 aralığında değişerek orta kalite sınıfında tespit edildiği bildirilmiştir.

Araştırmacı, çalışmasında membada bulunan istasyonlarda ölçülen kalite değerlerinin, mansapta bulunan istasyonlara göre daha yüksek olduğunu; bu durumun da mansaba doğru su debisinin azalmasının ve kirleticilerin birikiminin artmasının bir sonucu olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca çalışma içerisinde, Irak’ta bulunan nehirlerin mansapta kalması nedeniyle, memba yönündeki ülkelerden gelen endüstriyel ve tarımsal kirliliği, tuzluluk ve sertliği taşıdığı belirtilmektedir. Suyun memba yönündeki ülkelerde bulunan barajlar nedeniyle azaldığı, bu durumun da Irak’ta iklim değişikliğine yol açtığı belirtilmektedir. HPI’nin hesaplanması aşamasında ağır metaller (Cd, Ni, Pb ve Zn) için kullanılan limit değer Dünya Sağlık Örgütü’nün içme suyu standardında belirlenen limitlerden alınmıştır.

Samantray vd. (2009) tarafından Hindistan’da bulunan Mahanadi ve Atharabanki nehirleri ile Taldanda Kanalı’nda yapılan çalışmada, üç farklı mevsimde (yaz, post-muson (ekim-kasım) ve kış) toplamda yirmi beş farklı noktadan alınan numunelerde pH, çözünmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve fekal koliform parametreleri analiz edilerek NSF-WQI’nin belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırmacılar, NSF-WQI’nin

hesaplanmasında kullanılan dokuz parametre içerisinde en önemlileri olarak değerlendirdikleri pH, çözünmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve fekal koliform parametrelerini hesaplama için seçmişlerdir. Sonuçlar, her bir akarsu/kanal için ayrı ayrı ve mevsimsel olarak raporlanmıştır. Bu noktada, çalışma kapsamında nitrat, toplam katı madde ve bulanıklık gibi NSF-WQI'nin hesaplanmasında kullanılan parametrelerin de analiz edilerek raporlanmış olmasına rağmen, indeks hesabına neden dahil edilmedikleri hususu yazarlar tarafından açıklanmamıştır. Çalışma sonucunda, akarsularda hemen hemen tüm istasyonlarda iyi ve orta sınıfta su kalitesi belirlenmiştir.

Misaghi vd. (2017) tarafından İran'da bulunan Ghezel Ozan Nehri'nde yapılan çalışmada, eldeki 45 yıllık ölçüm sonuçlarının NSF-WQI hesaplanmasına kullanılması hedeflenmiştir. Yazarlar, NSF-WQI'nin hesaplanmasında kullanılan parametrelerden içme suyuyla alakalı olanları, tarımsal sulama suyu kalitesini gösterebilmesi amacıyla Dünya Tarım Örgütü tarafından belirlenen bazı parametrelerle düzenlemişlerdir. Araştırmacılar, tarımsal sulama suyu kalitesi için önemli olabilecek yedi parametreyi Na^+ , Cl^- , pH, HCO_3^- , iletkenlik, sodyum absorpsiyon oranı (SAR) ve toplam çözünmüş katı olarak belirlemişlerdir. Bu belirleme 50 kişilik su uzmanları grubu içerisinde yapılan bir anket çalışmasıyla yapılmıştır. Böylece her bir parametre için bir ağırlık katsayısı belirlenmiştir. Buna göre en yüksek ağırlıklar sırasıyla SAR (0,30) ve iletkenlik (0,25) parametreleri için verilmiştir. pH parametresi için 0,05 ve diğer parametreler için 0,10 ağırlık değeri atanmıştır. Bu noktada NSF-WQI'te parametreler için verilen alt-indislerin yerine parametrelerin ölçüm sonuçları, doğrudan ağırlık katsayılarıyla çarpılarak kümülatif toplamaları ağırlık faktörlerinin toplamına bölünerek sonuçlar elde edilmiştir. Ancak bu yöntem NSF-WQI'nin hesaplama mekanizmasıyla aynı yöntem değildir. Yazarların kullandığı hesaplama formülü, ağırlıklı aritmetik su kalitesi indeksine ait formüldür.

Wills ve Irvine (1996) tarafından yapılan çalışmada, Amerika Birleşik Devletleri'nin New York eyaletindeki Buffalo Nehri üzerinde NSF-WQI'nin pilot uygulaması yapılmıştır. Bu kapsamda; ardışık üç ay içerisinde nehir üzerinde oluşturulan 12 istasyondan su numuneleri alınarak kalite indeksleri hesaplanmıştır. Yazarlar, membaa yakın istasyonlarda su kalitesinin daha iyi olduğunu, mansaba doğru kalitenin azaldığını ortaya koymuşlardır. Ayrıca tüm istasyonlar için yüksek oranda tespit edilen fekal koliform parametresinin bir problem olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar, saha

çalışması esnasında indeks için gerekli olan toplam katı madde parametresi yerine askıda katı madde parametresini ölçmüşler. Askıda katı maddesi derişimleri, daha önce aynı bölgede yapılan çalışmalar dikkate alınarak geliştirilen eşitlikler kullanılarak tahmini toplam katı madde derişimlerine dönüştürülmüşlerdir. Önceki çalışmalarda elde edilen askıda katı madde derişimleriyle toplam katı madde derişimleri arasındaki istatistiksel bağıntı üzerinden, akarsuyun dört farklı bölgesine göre ayrı ayrı eşitlikler oluşturulmuştur. Yine çalışma esnasında çözünmüş oksijen derişimleri ölçülmüş olup bu değerler de dönüştürme faktörü kullanılarak oksijen doygunluğu (%) değerlerine dönüştürülmüştür. Su kalitesinin “iyi” ve “orta” sınıfta bulunduğunu belirten yazarlar, bu değerleri aynı bölgede 1978 yılında yapılan çalışmanın sonuçlarıyla da karşılaştırmış ve su kalitesinin neredeyse aynı kaldığını ortaya çıkarmışlardır.

4.2.2. Kanada Su Kalitesi İndeksi’ne Göre Değerlendirme

Kanada Su Kalitesi İndeksi’nin hesaplanması için en az dört parametreye bağlı dört ölçüm değeri gerekmektedir (Bilgin A. , 2018). Dolayısıyla bu indeksin hesaplanması esnasında, çalışma süresince ölçülen sıcaklık, çözünmüş oksijen, oksijen doygunluğu, pH, elektriksel iletkenlik, sülfat, amonyum azotu, nitrit azotu, nitrat azotu, toplam fosfor, KOİ, BOİ ve fekal koliform parametrelerinden uygun sayıda ölçüm yapılanlar kullanılmıştır (Çizelge 4.3). Örneğin bir parametre, bir istasyonda herhangi bir mevsimde ölçülemediyse o istasyon için CWQI hesaplamasına bu parametre dahil edilmemiştir. Diğer su kalitesi indekslerinden farklı olarak, bu indekste sonuçlar yalnızca istasyon bazında belirlenmiştir (Çizelge 4.4, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6).

Çizelge 4.3. CWQI hesaplamasında kullanılan parametreler

İstasyon	Toplam Parametre Sayısı	Hesaplamada Kullanılan Parametreler
1 no.lu İstasyon	10	Sıc / Ç.O. / O.D.% / pH / E.İ. / Sülf / Nitrat / KOİ / BOİ / F.K.
2 no.lu İstasyon	10	Sıc / Ç.O. / O.D.% / pH / E.İ. / Sülf / Nitrat / KOİ / BOİ / F.K.
3 no.lu İstasyon	10	Sıc / Ç.O. / O.D.% / pH / E.İ. / Sülf / Nitrat / KOİ / BOİ / F.K.
4 no.lu İstasyon	10	Sıc / Ç.O. / O.D.% / pH / E.İ. / Sülf / Nitrat / KOİ / BOİ / F.K.
5 no.lu İstasyon	10	Sıc / Ç.O. / O.D.% / pH / E.İ. / Sülf / Nitrat / KOİ / BOİ / F.K.
6 no.lu İstasyon	10	Sıc / Ç.O. / O.D.% / pH / E.İ. / Sülf / Nitrat / KOİ / BOİ / F.K.
7 no.lu İstasyon	11	Sıc / Ç.O. / O.D.% / pH / E.İ. / Sülf / Nitrit / Nitrat / T.F. / KOİ / F.K.

Çizelge 4.3. (Devam) CWQI hesaplamasında kullanılan parametreler

İstasyon	Toplam Parametre Sayısı	Hesaplamada Kullanılan Parametreler
8 no.lu İstasyon	13	Sıc / Ç.O. / O.D.% / pH / E.İ. / Sülf / Amony / Nitrit / Nitrat / T.F. / KOI / BOİ / F.K.
9 no.lu İstasyon	12	Sıc / Ç.O. / O.D.% / pH / E.İ. / Sülf / Amony / Nitrit / Nitrat / T.F. / KOI / F.K.
10 no.lu İstasyon	13	Sıc / Ç.O. / O.D.% / pH / E.İ. / Sülf / Amony / Nitrit / Nitrat / T.F. / KOI / BOİ / F.K.
11 no.lu İstasyon	13	Sıc / Ç.O. / O.D.% / pH / E.İ. / Sülf / Amony / Nitrit / Nitrat / T.F. / KOI / BOİ / F.K.
12 no.lu İstasyon	13	Sıc / Ç.O. / O.D.% / pH / E.İ. / Sülf / Amony / Nitrit / Nitrat / T.F. / KOI / BOİ / F.K.

CWQI'in hesaplanmasında, Kullanım Amacı Bazlı Su Kalitesi İndeksi ve Referans Nokta Bazlı Su Kalitesi İndeksi olmak üzere iki farklı yaklaşım benimsenmiştir. Kullanım amacı baz alınarak yapılan kalite indeksi tayininde, seçilen parametrelerin sınır değerlerinin belirlenmesinde Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nin "EK-5 Yerüstü Su Kütlelerinde Bazı Parametreler İçin Çevresel Kalite Standartları ve Kullanım Maksatları" tablosu ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nin "Tablo 1: Kıta içi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri" tablosu birlikte kullanılmıştır. Eksik parametreler için çapraz başvuru yapılarak I. ve II. sınıf su kalitesi için limit değerler belirlenmiştir (Ek-1). Daha sonra ise I. ve II. su kalite sınıfları için verilen limit değerlere göre ayrı ayrı indeks hesaplaması yapılmıştır. Bu Yukarı Sakarya Nehri'nden yapılan/yapılacak su teminlerinde I. ve II. sınıf su kullanımlarının daha yoğun olacağı öngörüldüğünden indeks hesaplamasında kabul edilen sınır değerler bu iki kalite sınıfı baz alınarak yapılmıştır.

Burak Baltaoğlu (1990) tarafından Sakarya Havzası'ndaki su kalitesini belirlemeye yönelik yapılan çalışmada, araştırmacı tarafından havzada bulunan akarsuların kaynak noktalarında dahi Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde tanımlanan 1. Sınıf Su Kalitesi koşullarının sağlanamadığı, dolayısıyla su kalitesi yönetiminde belirlenen yararlı kullanımlara uygun olan 2. Sınıf Su Kalitesi'nin esas alındığı belirtilmiştir (Çalışmanın yapıldığı 1990 yılında, 1988 yılında yayımlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği yürürlükte ve bu yönetmelikte Kıta içi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri tablosu yer almakta olup günümüzde yürürlükte olan 2004 tarihli aynı yönetmeliğin aynı isimli tablosuyla uyumludur).

Halen yürürlükte olan ve 31.12.2004 tarihli ve 25687 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, yayım tarihi itibarıyla

30.11.2012 tarihli ve 28483 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği’nden daha eskidir. İlk defa yayımlandığı 04.09.1988 tarihinden itibaren Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’nde, yüzeysel su kalitesinin belirlenmesine yönelik maddelerle birlikte bir de sınıflandırma tablosu bulunmaktaydı. Daha sonra Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği’nin yayımlanması ile başlayan süreçte, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’nde yer alan su kalitesinin belirlenmesine yönelik maddeler mülga olmuş, yürürlükten kalkmıştır. Bununla birlikte yönetmelikte yer alan “Tablo 1: Kıta içi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri” tablosu halen yürürlüktedir. Dolayısıyla parametreler içim limit değerler belirlenirken öncelikli olarak Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, daha sonra ise Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği dikkate alınmıştır.

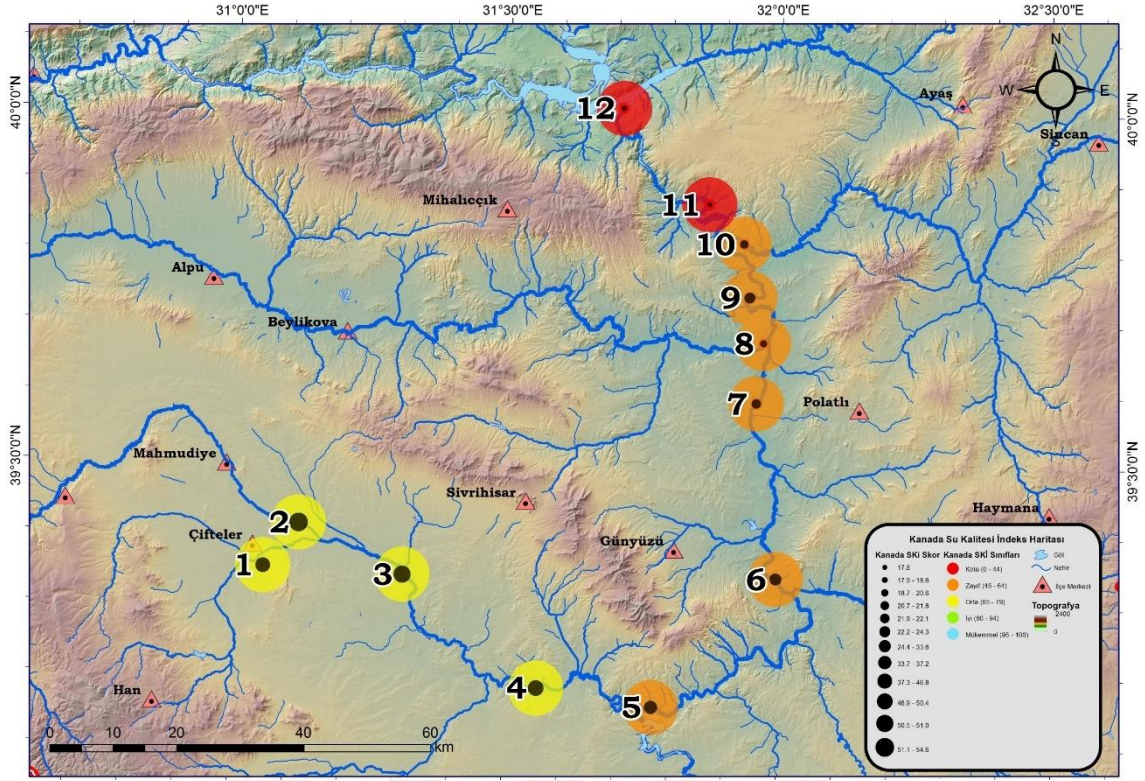
Diğer bir yaklaşım olan Referans Nokta Bazlı Su Kalitesi İndeksi yaklaşımında ise akarsu üzerinde kirletici etkenlerden uzak bir referans nokta seçilerek, bu noktada ölçülen değerlerin yıllık ortalaması sınır değerler olarak kabul edilmiştir. Çalışma alanındaki 1 no.lu istasyon doğrudan akarsuyun membaı olduğundan, burada dört mevsim boyunca ölçülen değerlerin ortalamaları, akarsuyun özgün kalite değerleri olarak kabulü yapılmış ve limit değerler olarak kabul edilmiştir. Mevcut durumda bu istasyon, 25.01.2017 tarihli ve 29959 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Doğal Sit Alanları Koruma ve Kullanma Koşulları İlke Kararı’nda “*doğal yapısı değişmemiş veya az değişmiş, modern yaşam ve önemli ölçüde insan faaliyetleri tarafından etkilenmemiş... kara, su, deniz alanları*” olarak tanımlanan “Nitelikli Doğal Koruma Alanı” olarak belirlendiği için insan faaliyetlerinden etkilenmediği düşünülmektedir.

Her bir istasyon için öncelikle F1, F2 ve F3 değerleri belirlenmiş ve bu değerler Eşitlik 2.12’de kullanılarak her istasyonun ayrı ayrı kalite (indeks) puanları hesaplanmıştır. Daha sonra Çizelge 2.10’da yer alan kalite sınıfları baz alınarak, her bir kalite sınıfına ait limit değerler için (I. ve II. sınıf kullanımlar için ve referans noktaya göre) su kaliteleri tespit edilmiştir (Çizelge 4.4, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6).

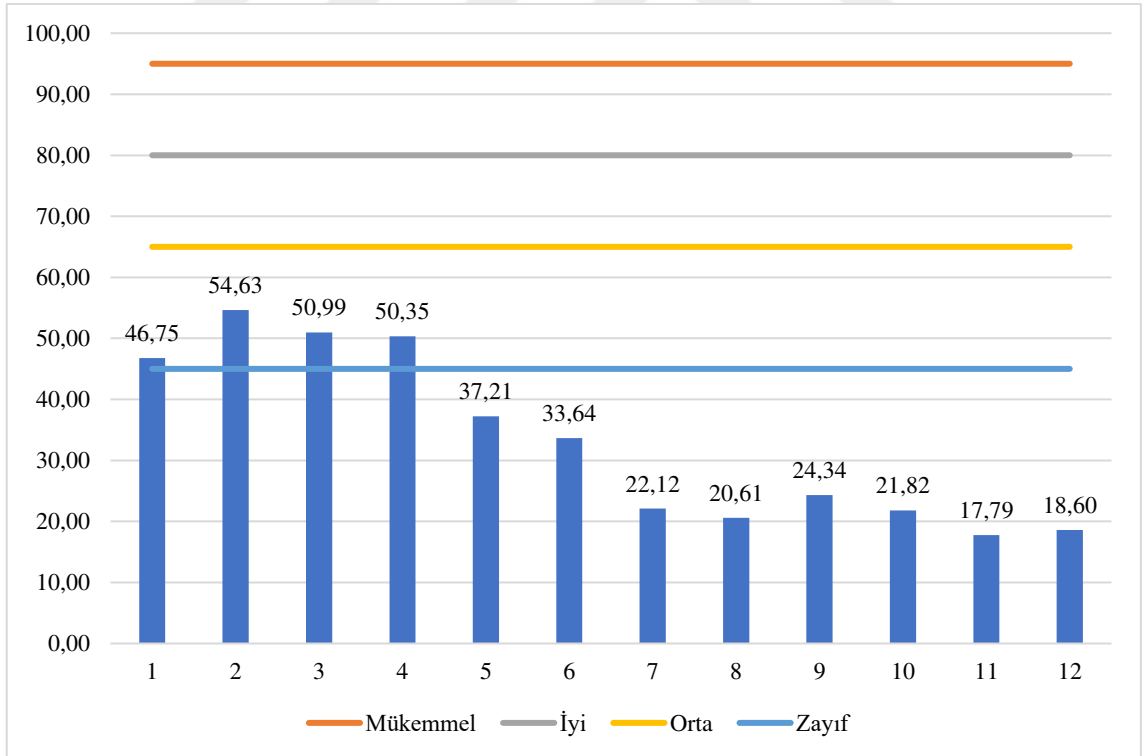
Çizelge 4.4. I. sınıf su kullanımları için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış CWQI değerleri ve kalite sınıfları

İstasyon No	F1	F2	F3	Kalite Puanı	Durum
1 no.lu İstasyon	40,00	35,00	75,37	46,75	ZAYIF
2 no.lu İstasyon	40,00	25,00	62,86	54,63	ZAYIF
3 no.lu İstasyon	30,00	25,00	75,38	50,99	ZAYIF
4 no.lu İstasyon	50,00	32,50	61,96	50,35	ZAYIF
5 no.lu İstasyon	80,00	40,00	61,85	37,21	KÖTÜ
6 no.lu İstasyon	70,00	42,50	80,64	33,64	KÖTÜ
7 no.lu İstasyon	81,82	54,55	92,33	22,12	KÖTÜ
8 no.lu İstasyon	84,62	53,85	94,06	20,61	KÖTÜ
9 no.lu İstasyon	75,00	54,17	92,80	24,34	KÖTÜ
10 no.lu İstasyon	69,23	65,38	96,26	21,82	KÖTÜ
11 no.lu İstasyon	76,92	71,15	96,41	17,79	KÖTÜ
12 no.lu İstasyon	76,92	69,23	95,74	18,60	KÖTÜ

İlk yaklaşımda I. ve II. sınıf su kullanımları için verilen limit değerleri (Ek-1) referans olarak alınmıştır. Bu durumda, çalışma alanında yıl boyunca alınan numunelerin analiz edilmesi sonucunda 1, 2, 3 ve 4 no.lu istasyonlarda su kalitesi ZAYIF sınıfta belirlenmiştir (Çizelge 4.4). 1 no.lu istasyonun memba olarak ele alındığı düşünülürse su kalitesinin düşük olduğu ve 2, 3 ve 4 no.lu istasyonlardaki su kalitesinin membadan yüksek olduğu dikkat çekmektedir (Şekil 4.21). Membadan mansaba doğru 5 no.lu istasyondan son istasyon olan 12 no.lu istasyona kadar tüm diğer istasyonlarda su kalitesi KÖTÜ sınıfta belirlenmiştir. Bu yaklaşıma göre en düşük su kalitesi 11, 12 ve 8 no.lu istasyonlarda (sırasıyla 17,79, 18,60 ve 20,61) belirlenmiştir.



Görsel 4.5. I. sınıf su kullanımları için verilen sınır değerlere göre CWQI değerleri



Şekil 4.21. I. sınıf su kullanımları için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış CWQI değerleri

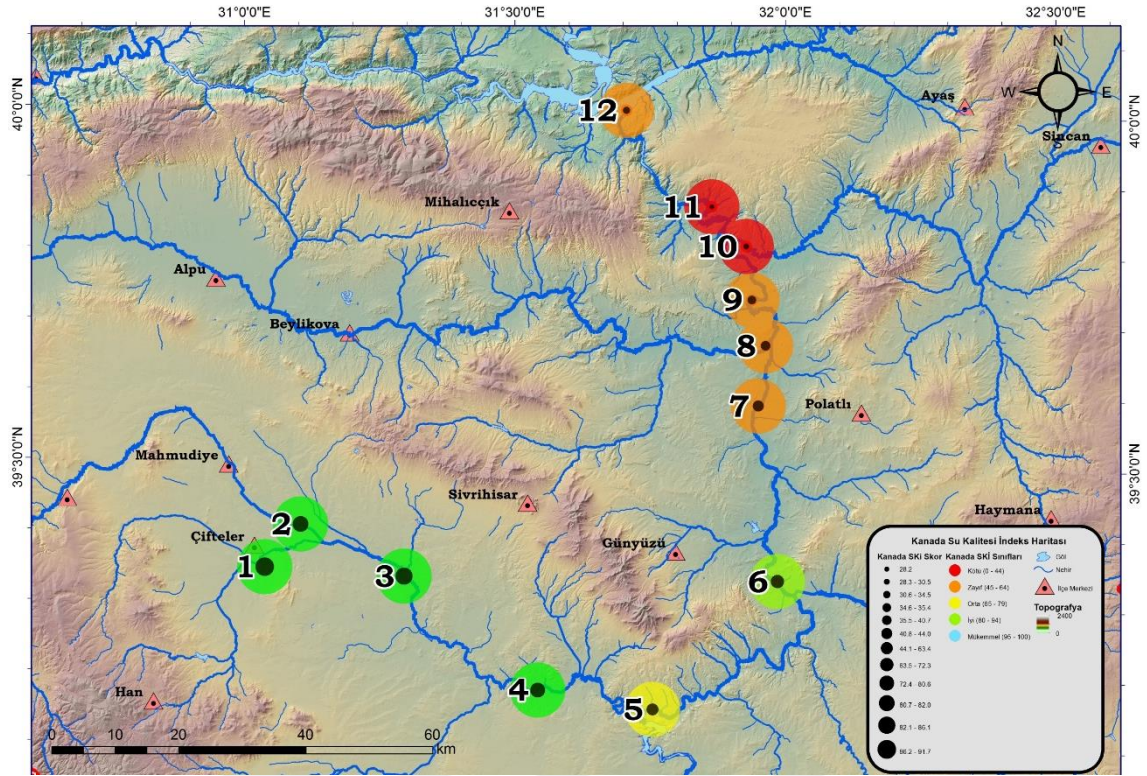
Referans olarak II. sınıf su kullanımları için verilen limit değerler göz önüne alındığında, çalışma alanından yıl boyunca mevsimsel olarak alınan numunelerin analiz edilmesi sonucunda, membadan mansaba doğru 1, 2, 3 ve 4 no.lu istasyonların su

kaliteleri İYİ sınıfta tespit edilmiştir (Çizelge 4.5). Bu değerlendirmeye göre su kalitesinin en yüksek olduğu istasyon 1 no.lu istasyon (91,66 skorla) olarak belirlenmiştir. 5 no.lu istasyonda su kalitesi 63,41 puanla ZAYIF sınıfta belirlenirken hemen ardışığındaki 6 no.lu istasyonda su kalitesinin artarak ORTA sınıfa yükseldiği (72,26 skor) görülmektedir (Görsel 4.5 ve Şekil 4.22).

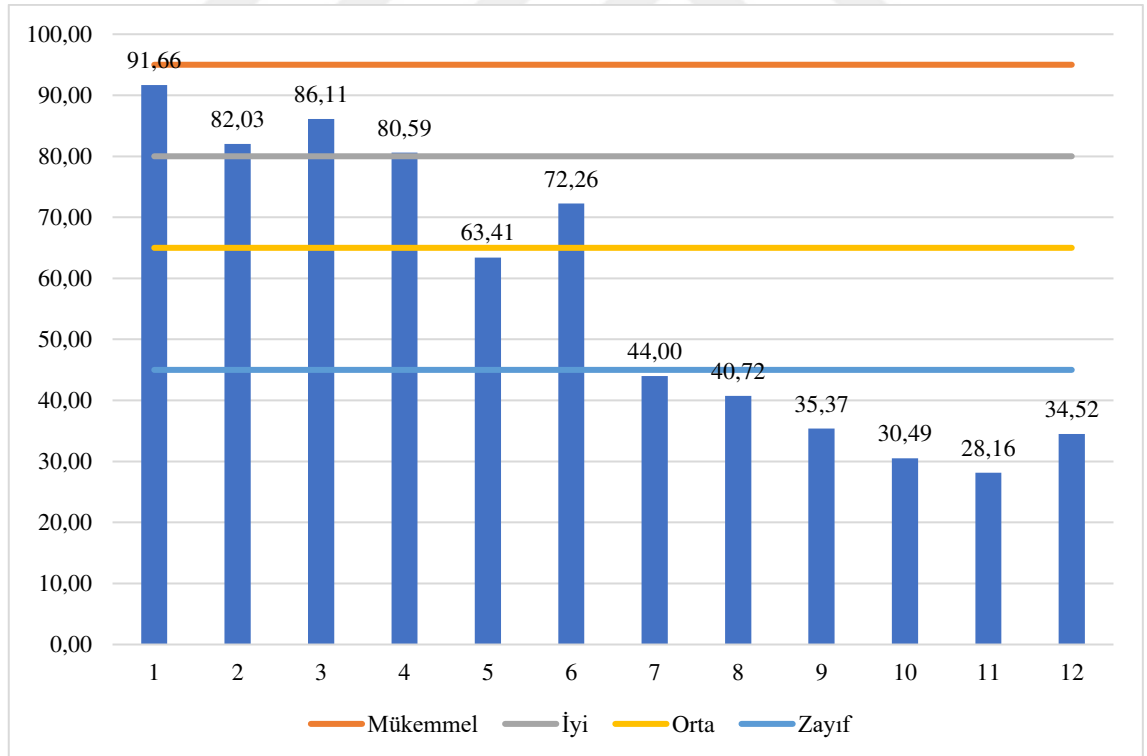
Çizelge 4.5. II. sınıf su kullanımları için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış CWQI değerleri ve kalite sınıfları

İstasyon No	F1	F2	F3	Kalite Puanı	Durum
1 no.lu İstasyon	10,00	2,50	10,11	91,66	İYİ
2 no.lu İstasyon	30,00	7,50	3,47	82,03	İYİ
3 no.lu İstasyon	20,00	7,50	11,08	86,11	İYİ
4 no.lu İstasyon	30,00	12,50	8,58	80,59	İYİ
5 no.lu İstasyon	60,00	20,00	4,14	63,41	ZAYIF
6 no.lu İstasyon	40,00	22,50	14,24	72,26	ORTA
7 no.lu İstasyon	63,64	34,09	64,79	44,00	KÖTÜ
8 no.lu İstasyon	69,23	34,62	67,46	40,72	KÖTÜ
9 no.lu İstasyon	58,33	39,58	86,94	35,37	KÖTÜ
10 no.lu İstasyon	69,23	53,85	82,48	30,49	KÖTÜ
11 no.lu İstasyon	76,92	55,77	80,35	28,16	KÖTÜ
12 no.lu İstasyon	61,54	53,85	78,58	34,52	KÖTÜ

7 no.lu istasyondan mansaba kadar tüm istasyonlarda su kalitesi KÖTÜ sınıfta belirlenmiştir. Yıl boyunca en kötü su kaliteleri Ankara Çayı'nı temsil eden 10 no.lu ve Sakarya Nehri'yle karışımını temsil eden 11 no.lu istasyonlarda (28,16 ve 30,49) tespit edilmiştir (Görsel 4.6).



Görsel 4.6. II. sınıf su kullanımları için verilen sınır değerlere göre CWQI değerleri



Şekil 4.22. II. Sınıf su kullanımları için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış CWQI değerleri

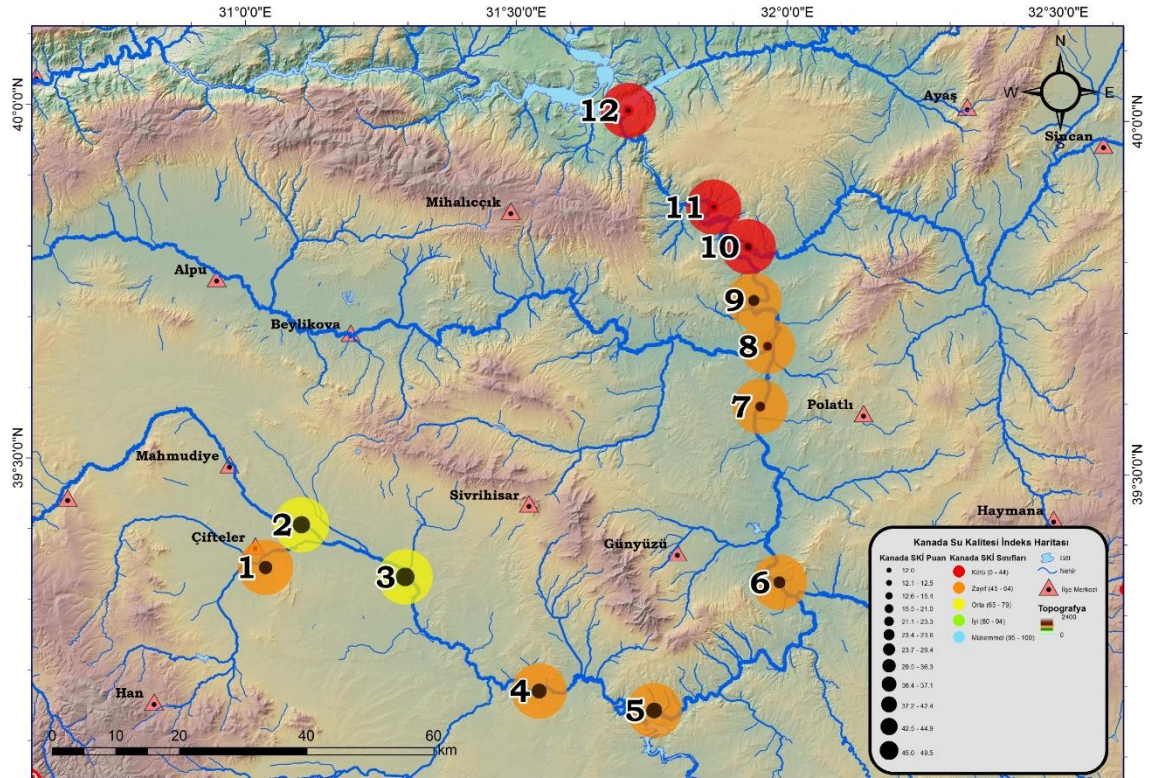
Son olarak, referans nokta olan 1 no.lu istasyonda yıl boyunca ölçülen parametrelere ait ortalama değerler referans olarak kabul edilmiştir. Bu yaklaşımla yapılan hesaplamalarda; yıl boyunca en yüksek su kalitesi 3 no.lu istasyonda ZAYIF

sınıfta (49,5 skor) belirlenmiştir (Çizelge 4.6). Tüm noktalar için elde edilen skor değerleri diğer iki yaklaşımda elde edilen değerlerden daha düşüktür. Referans nokta olan 1 no.lu istasyonda su kalitesi 36,3 puanla KÖTÜ sınıfta belirlenmiştir. En düşük kalite sınıfları ise önceki yaklaşımlara benzer şekilde 11, 12 ve 10 no.lu istasyonlarda (sırasıyla 12,0, 12,5 ve 15,4 skor) olarak belirlenmiştir.

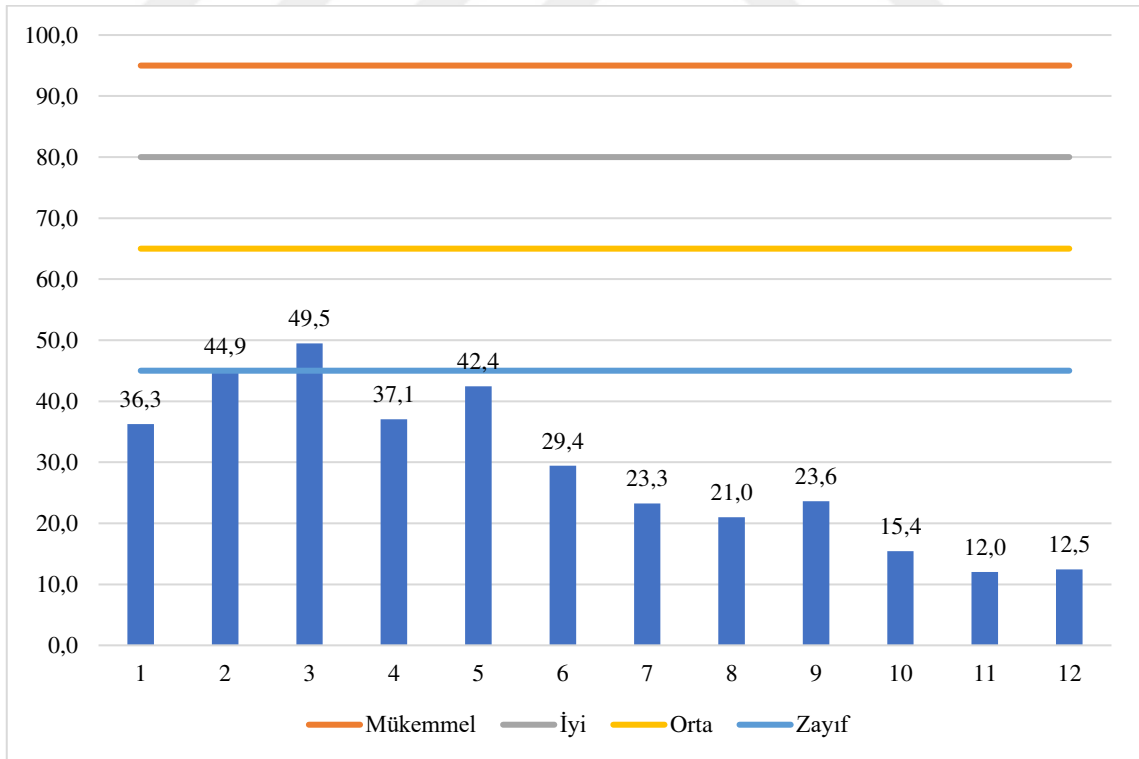
Bu yaklaşımla hesaplanan sonuçlar incelendiğinde, su kalitesinin 4 no.lu istasyondan mansaba doğru azaldığı görülmektedir (Şekil 4.23). Bu durum diğer iki yaklaşımda da hemen hemen benzer şekilde gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.6. Referans nokta için belirlenen sınır değerlere göre hesaplanmış CWQI değerleri ve kalite sınıfları

İstasyon No	F1	F2	F3	Kalite Puanı	Durum
1 no.lu İstasyon	90,0	40,0	49,82	36,28	KÖTÜ
2 no.lu İstasyon	70,0	27,5	58,69	44,92	KÖTÜ
3 no.lu İstasyon	60,0	32,5	54,80	49,47	ZAYIF
4 no.lu İstasyon	80,0	42,5	60,67	37,05	KÖTÜ
5 no.lu İstasyon	70,0	37,5	60,33	42,42	KÖTÜ
6 no.lu İstasyon	90,0	55,0	61,78	29,42	KÖTÜ
7 no.lu İstasyon	90,9	56,8	78,58	23,26	KÖTÜ
8 no.lu İstasyon	84,6	61,5	88,18	21,00	KÖTÜ
9 no.lu İstasyon	83,3	62,5	81,62	23,59	KÖTÜ
10 no.lu İstasyon	84,6	73,1	94,59	15,45	KÖTÜ
11 no.lu İstasyon	92,3	76,9	93,76	12,00	KÖTÜ
12 no.lu İstasyon	92,3	78,8	90,82	12,47	KÖTÜ



Görsel 4.7. Referans nokta için belirlenen su kalitesi için verilen sınır değerlere göre CWQI değerleri



Şekil 4.23. Referans nokta için belirlenen sınır değerlere göre hesaplanmış CWQI değerleri ve kalite sınıfları

Her üç yaklaşıma göre hesaplanan kalite indeksi değerleri incelendiğinde, I. ve II. sınıf su kullanımları için belirlenen limit değerler (Ek-1) referans kabul edildiğinde elde edilen sonuçların diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.24). I. sınıf su kullanımı için verilen limit değer ve referans noktaya göre belirlenen limit değerler göz önüne alınarak yapılan hesaplamalarda ise 1. sınıf su kullanımı yaklaşımının az bir farkla referans nokta yaklaşımına göre daha iyi sonuçlar ürettiği görülmektedir.

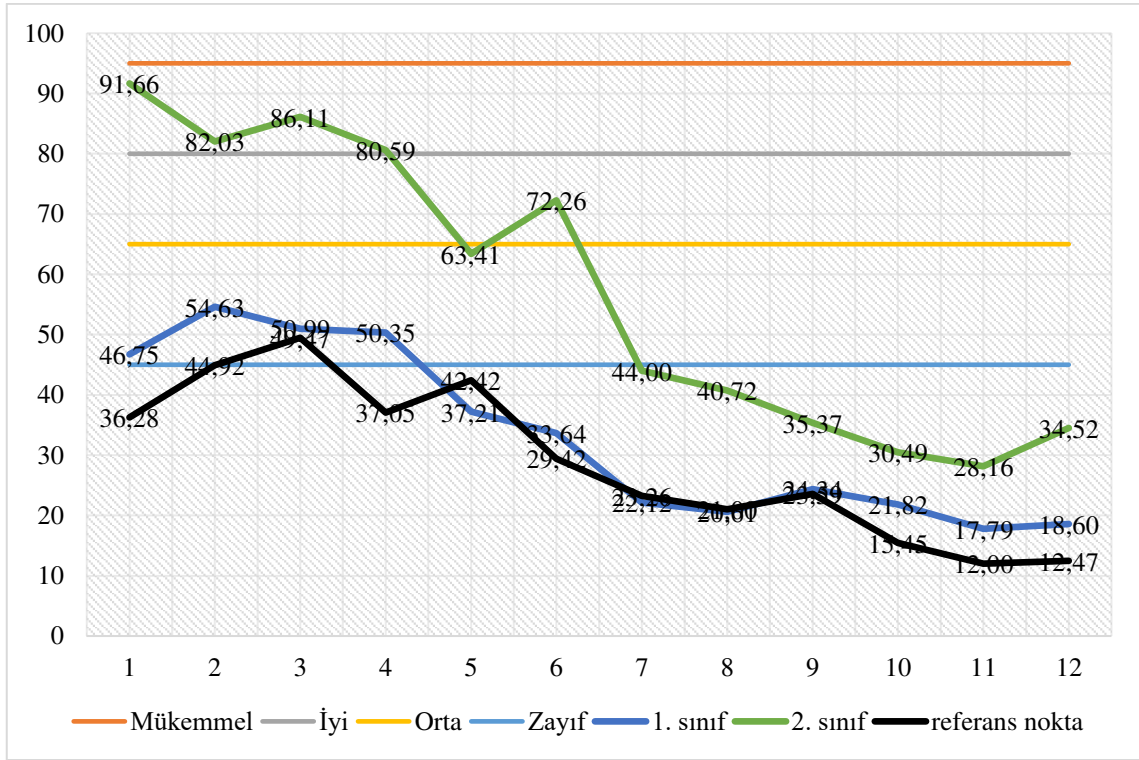
Bu noktada kullanım amacının önemi ortaya çıkmaktadır. Çalışma alanında doğrudan içme suyu temini için su kullanımı yoktur. Su temini amacıyla kullanılmayan bir akarsuda CWQI hesaplamalarında kullanılacak sınır değerler, doğrudan içme suyu temininde kullanılabilen 1. sınıf su kalitesine ait sınır değerlerden seçilirse elde edilen sonuçların kullanım amacına uygun sonuç vermeyeceği ortadadır.

Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği ile Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde limit değerleri verilen 2. sınıf su kütleleri, çalışma alanının mevcut kullanım amaçlarıyla da uyumlu olan rekreasyonel amaçlı kullanılabilen, alabalık dışındaki balıkların üretimine kullanılabilen ve sulama suyu olarak kullanılabilen sulardır. Özellikle çalışma alanında tarımsal faaliyetler ve tarım alanları yoğunluktadır. Bu bakış açısıyla hesaplanan indeks değerlerinin suyun mevcut kalitesini yansıtmaya daha yatkın olduğu düşünülmektedir.

Çalışma alanının membaı 1 no.lu istasyon olup buradan temin edilen su örneklerinin kirlilik ve her türlü baskıdan uzak olduğu kabul edilmektedir. Suyun kullanım amaçları dikkate alınmadan, doğrudan membaa göre su kalitesinin araştırılması amacıyla buradan alınan örneklerle tespit edilen değerler referans olarak kabul edildiğinde ise elde edilen kalite değerleri akarsuyun mansaba doğru giderek kirlendiğinin açık göstergesidir.

Tunç Dede ve Sezer (2017) tarafından Aksu Çayı'nda CWQI kullanılarak su kalitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda; Aksu Çayı üzerinde bulunan 3 farklı gözlem noktasından bir yıl süreyle aylık olarak numuneler alınarak 36 farklı parametre için analizler yapılmıştır. Yazarlar, indeksin hesaplanması aşamasında geçersiz olan parametreler ve test sayılarını belirlemek üzere ulusal ve uluslararası çeşitli düzenlemeleri ve limit değerleri baz almışlardır. Çalışmada ağırlıklı olarak TS 266 standardında verilen limit değerler dikkate alınmıştır. Bunun dışında Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (çözünmüş oksijen, amonyak azotu, fosfat, klorür, BOİ, toplam koliform, e.

koliform, Zn, Co, Ba, sürfaktanlar, fenoller parametreleri için) ile Dünya Sağlık Örgütü'nce belirlenen sınır değerler (potasyum ve sertlik parametreleri için) kullanılmıştır. Bu açıdan bakıldığında yazarlar, farklı amaçlar için belirlenmiş limit değerleri kullanmayı tercih etmişlerdir. Ayrıca Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde verilen sınır değerlerden 1. Sınıf su kalitesi için verilen limitleri seçmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda üç istasyonda elde edilen kalite skorları 47, 51,5 ve 46 olarak hesaplanmış olup kalite sınıfı zayıf olarak belirlenmiştir. Yazarlar su kalitesindeki bozulmadan çözünmüş oksijen derişimi, T. coli, E. coli ve fenol parametrelerinin sorumlu olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 4.24. Üç farklı yaklaşıma göre CWQI değerleri

Terrado vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada CWQI'in kentsel atıksu durumu, ötrofikasyon durumu ve balık yaşamı için risklerin belirlenmesi hususunda üç farklı amaç için kullanımındaki duyarlılık araştırılmıştır. Araştırmacıların bu çalışmada kullandığı veriler otomatik numune alma sistemi ağlarından elde edilmiştir. Sürekli olarak belirli parametrelerin ölçülerek kaydedildiği bu sistemlerde ortaya çıkan veri kütlesi ciddi oranda büyük olduğundan, elde edilen verilerin anlamlı tek bir sonuca indirgenmesi zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu amaçla araştırmacılar tarafından CWQI'in verileri yorumlama biçimini bakımdan diğer beş farklı indekse (WQI, Pesce and Wunderlin's

WQI, Liou's River-pollution index, NSF-WQI) göre daha uygun olduğu bildirilmiştir. Bu kıyaslama sayılan indeksler arasındaki avantaj/dezavantajlar göz önüne alınarak yapılmıştır. Bahsedilen kıyaslama sonucunda, CWQI'nin sürekli örnekleme metoduyla alınan numunelerin işlenmesinde, farklı kullanım amaçlarının izlenmesinde, gerçek uygulama deneyimi sunmasında, veri setinin genliğini (büyüklüğü) dikkate almasında, kullanım kolaylığında iyi bir tercih olduğu belirtilmiştir. Yöntemin kötü olduğu yönleri ise eksik ve/veya yanlış veriyi göz ardı edememesi olarak bildirilmiştir.

Musliu vd. (2018) tarafından Kosova'da Morava e Binçës Nehri'nde yapılan çalışmada, beş istasyondan dört mevsim boyunca 17 adet fizikokimyasal parametrenin analizi yapılarak CWQI sınıfı belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan parametreler; sıcaklık, bulanıklık, iletkenlik, çözünmüş katı maddeler, pH, çözünmüş oksijen, oksijen doygunluğu, kimyasal oksijen ihtiyacı, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, toplam organik karbon, nitrat, yüzey aktif maddeler (deterjan), fosfat, amonyum, nitrit, sülfat ve klorürdür. Yazarlar, dört mevsim boyunca elde ettikleri ölçüm değerleri sonucunda her istasyon için yıllık bir kalite indeksi değeri elde etmişlerdir. Daha sonra ise bu kalite puanlarının ortalamaları alınarak akarsuyun CWQI kalite sınıfını belirlemişlerdir. Yazarlar, CWQI'nin hesaplanması için ücretsiz dağıtılan (freeware) bir yazılım kullandıklarını belirtmişlerdir. Ancak limit değerlerin hangi mevzuata/düzenlemeye göre alındığı belirtilmemiştir.

4.2.3. Oregon Su Kalitesi İndeksi'ne Göre Değerlendirme

Oregon Su Kalitesi İndeksi'nin hesaplanmasında sıcaklık, çözünmüş oksijen (yüzdece doygunluk ve derişim), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), pH, toplam katı madde, amonyak ve nitrat azotu, toplam fosfor ve fekal koliform parametreleri kullanılır. Bu çalışmada toplam katı madde ve amonyak parametreleri ölçülmediği için hesaplamalarda bu iki parametre kullanılmamıştır. İndeks skorunu hesaplamak için kullanılan Eşitlik 2.15'te nihai skor, işleme dahil edilen parametre sayısı (n) bölünerek hesaplama yapıldığı için n değeri olarak, hesaplama için o mevsimde kullanılan parametre sayısı yazılmıştır.

Oregon su kalitesi indeksi hesaplamalarında her mevsimde tüm istasyonların kalite indeks puanları hesaplanmıştır (Çizelge 4.7). Bu doğrultuda, Çizelge 2.11'de verilen

kalite sınıfları dikkate alınarak tüm istasyonların kalite sınıfları belirlenmiştir (Çizelge 4.8).

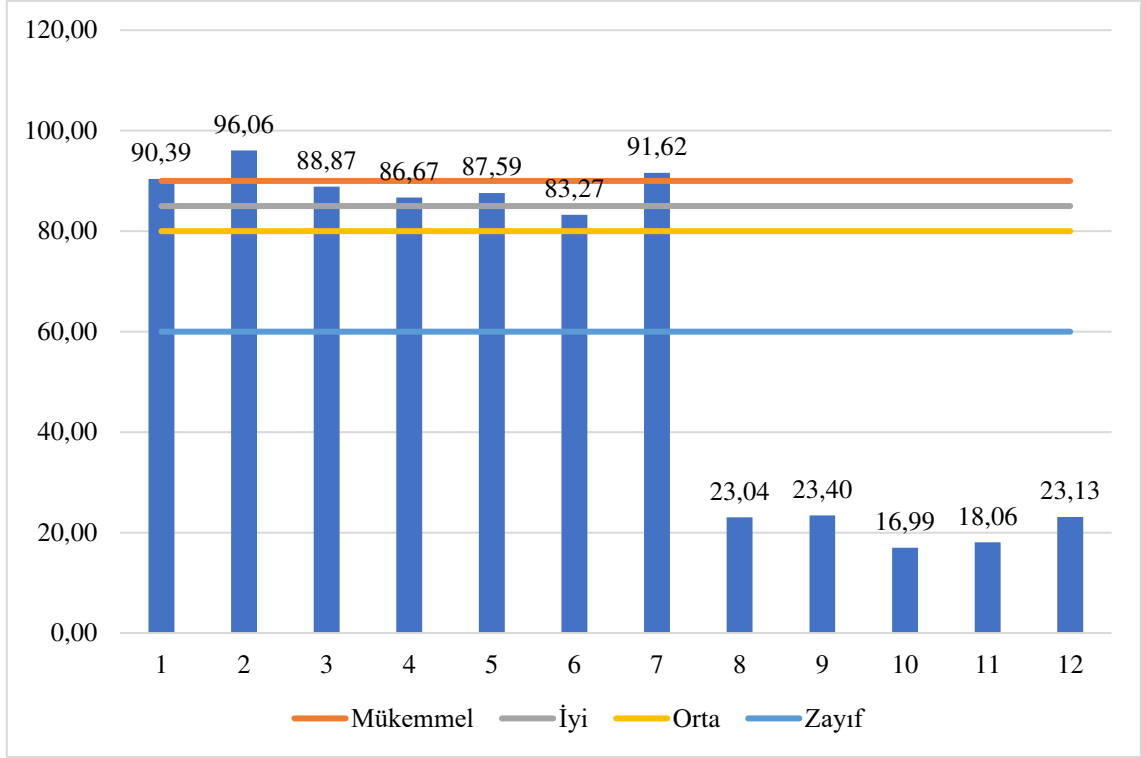
Çizelge 4.7. Her istasyonun mevsimsel bazda OWQI skorları

İstasyon	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
1 no.lu İstasyon	90,39	88,52	77,44	57,23
2 no.lu İstasyon	96,06	85,55	89,18	51,61
3 no.lu İstasyon	88,87	91,55	89,33	57,60
4 no.lu İstasyon	86,67	94,09	87,91	69,75
5 no.lu İstasyon	87,59	93,41	85,94	23,28
6 no.lu İstasyon	83,27	86,73	76,02	49,18
7 no.lu İstasyon	91,62	73,84	69,21	21,01
8 no.lu İstasyon	23,04	22,86	21,74	21,23
9 no.lu İstasyon	23,40	54,04	22,50	21,84
10 no.lu İstasyon	16,99	13,90	16,53	16,35
11 no.lu İstasyon	18,06	21,34	16,81	16,64
12 no.lu İstasyon	23,13	22,60	12,00	16,18

Çizelge 4.8. Tüm istasyonların OWQI kalite sınıfları

İstasyon	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
1 no.lu İstasyon	MÜKEMMEL	İYİ	ZAYIF	ÇOK ZAYIF
2 no.lu İstasyon	MÜKEMMEL	İYİ	İYİ	ÇOK ZAYIF
3 no.lu İstasyon	İYİ	MÜKEMMEL	İYİ	ÇOK ZAYIF
4 no.lu İstasyon	İYİ	MÜKEMMEL	İYİ	ZAYIF
5 no.lu İstasyon	İYİ	MÜKEMMEL	İYİ	ÇOK ZAYIF
6 no.lu İstasyon	ORTA	İYİ	ZAYIF	ÇOK ZAYIF
7 no.lu İstasyon	MÜKEMMEL	ZAYIF	ZAYIF	ÇOK ZAYIF
8 no.lu İstasyon	ÇOK ZAYIF	ÇOK ZAYIF	ÇOK ZAYIF	ÇOK ZAYIF
9 no.lu İstasyon	ÇOK ZAYIF	ÇOK ZAYIF	ÇOK ZAYIF	ÇOK ZAYIF
10 no.lu İstasyon	ÇOK ZAYIF	ÇOK ZAYIF	ÇOK ZAYIF	ÇOK ZAYIF
11 no.lu İstasyon	ÇOK ZAYIF	ÇOK ZAYIF	ÇOK ZAYIF	ÇOK ZAYIF
12 no.lu İstasyon	ÇOK ZAYIF	ÇOK ZAYIF	ÇOK ZAYIF	ÇOK ZAYIF

Bu kapsamda, çalışma boyunca ölçülen en yüksek su kalitesi 2 no.lu istasyonda sonbahar mevsiminde (96,06 indeks puanı) MÜKEMMEL sınıfta belirlenmiştir. Tüm mevsimlerde 8 no.lu istasyondan mansaba doğru tüm diğer istasyonlarda, su kalitesi dramatik bir şekilde azalarak ÇOK ZAYIF sınıfta belirlenmiştir. Bu durumun sebebi BOİ ve fekal koliform parametrelerinin bu istasyonlarda hemen hemen tüm mevsimlerde yüksek olması ve parametrelerin ağırlık katsayılarının eşit olmasıdır.

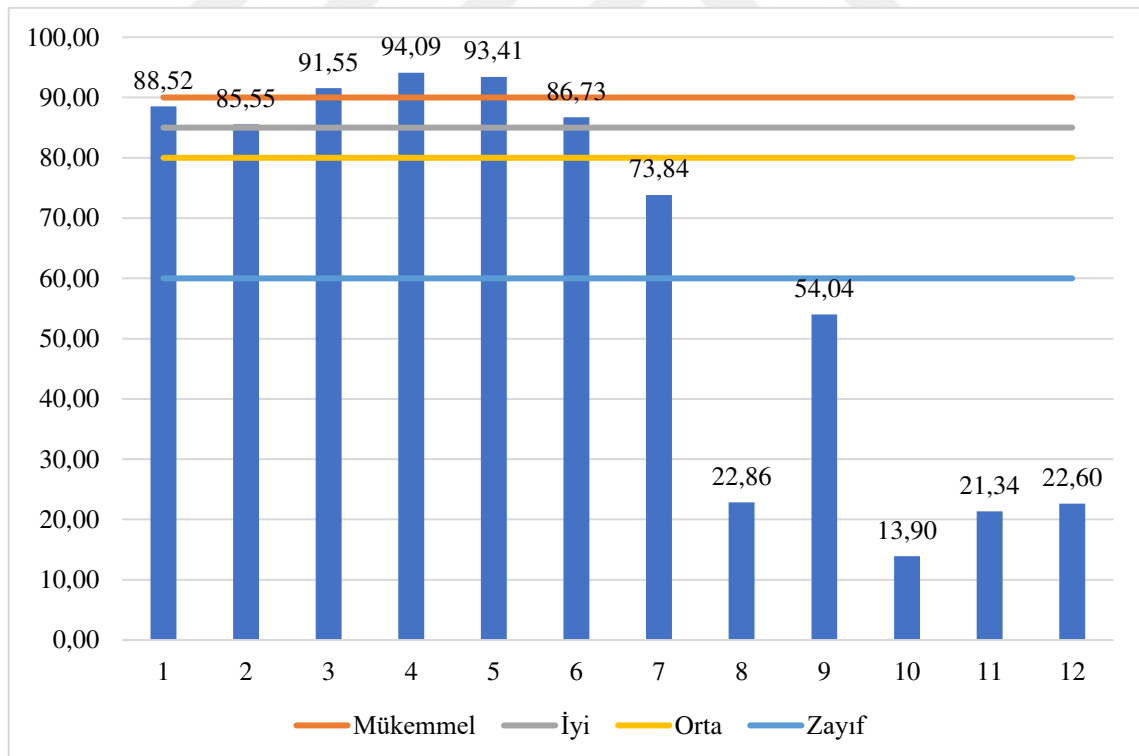
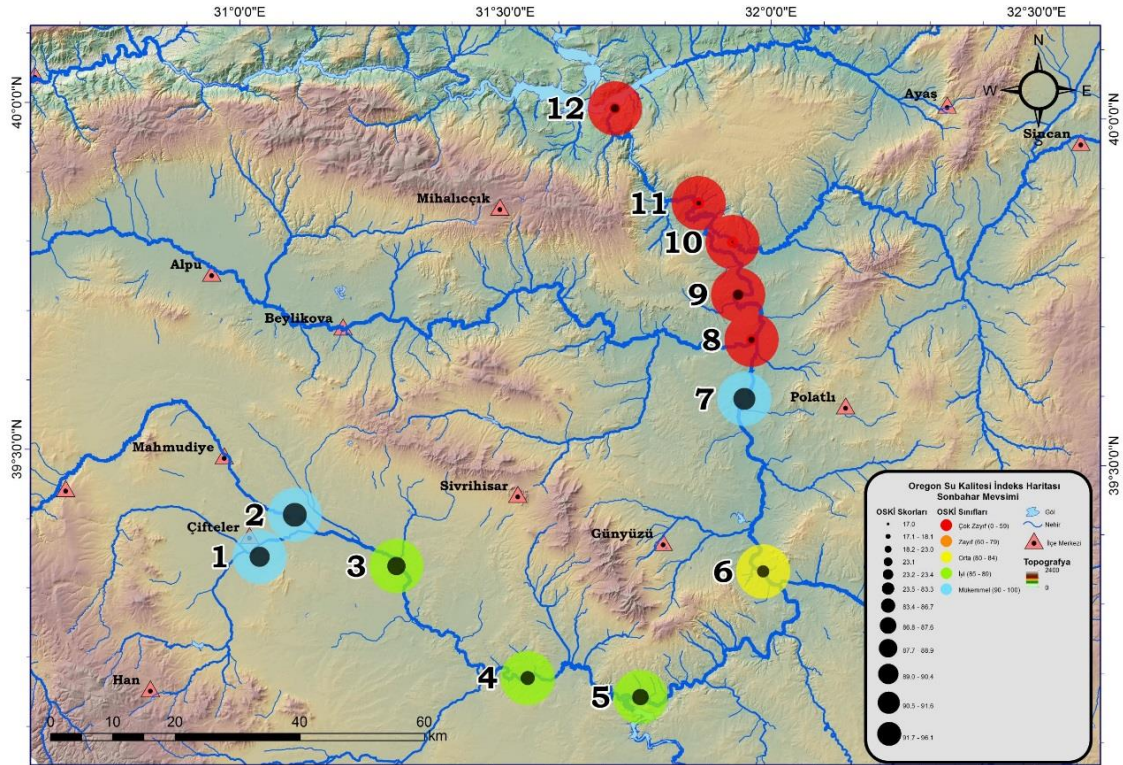


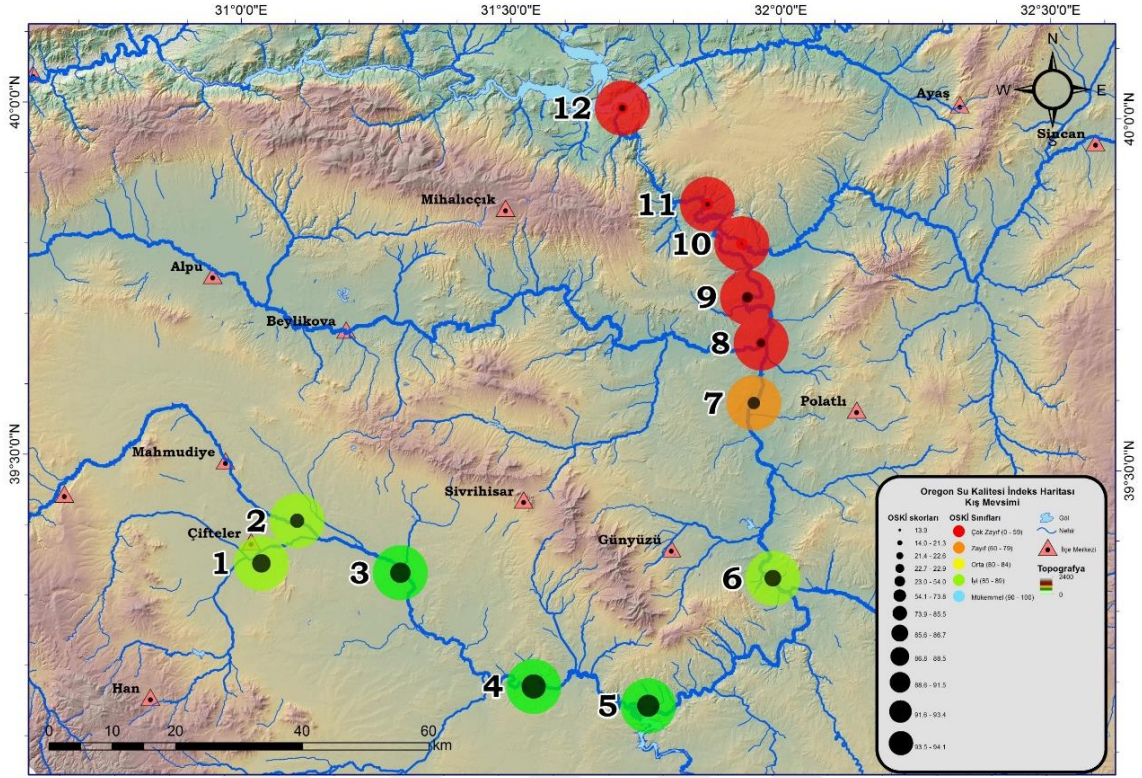
Şekil 4.25. Sonbahar mevsimi OWQI değerleri

Sonbahar mevsiminde su kalitesinin en yüksek olarak saptandığı istasyonlar 1, 2 ve 7 no.lu istasyonlar (90,39, 96,06 ve 91,62) olup bu noktalarda su kalitesi MÜKEMMEL sınıftadır (Şekil 4.25). Membadan itibaren ilk yedi istasyonda su kalitesinin diğer istasyonlara göre fark edilir seviyede yüksek olduğu (6 no.lu istasyon 83,27 skorla ORTA sınıfta) tespit edilmiştir.

Ancak Porsuk Çayı'nı temsil eden 8 no.lu istasyondan itibaren su kalitesi skorları 16-23 aralığında değişerek ÇOK ZAYIF sınıfta tespit edilmiştir. Diğer indekslerle benzer şekilde, en düşük su kalitesi değerleri 10 ve 11 no.lu istasyonlarda (sırasıyla 16,99 ve 18,06) belirlenmiştir (Görsel 4.8).

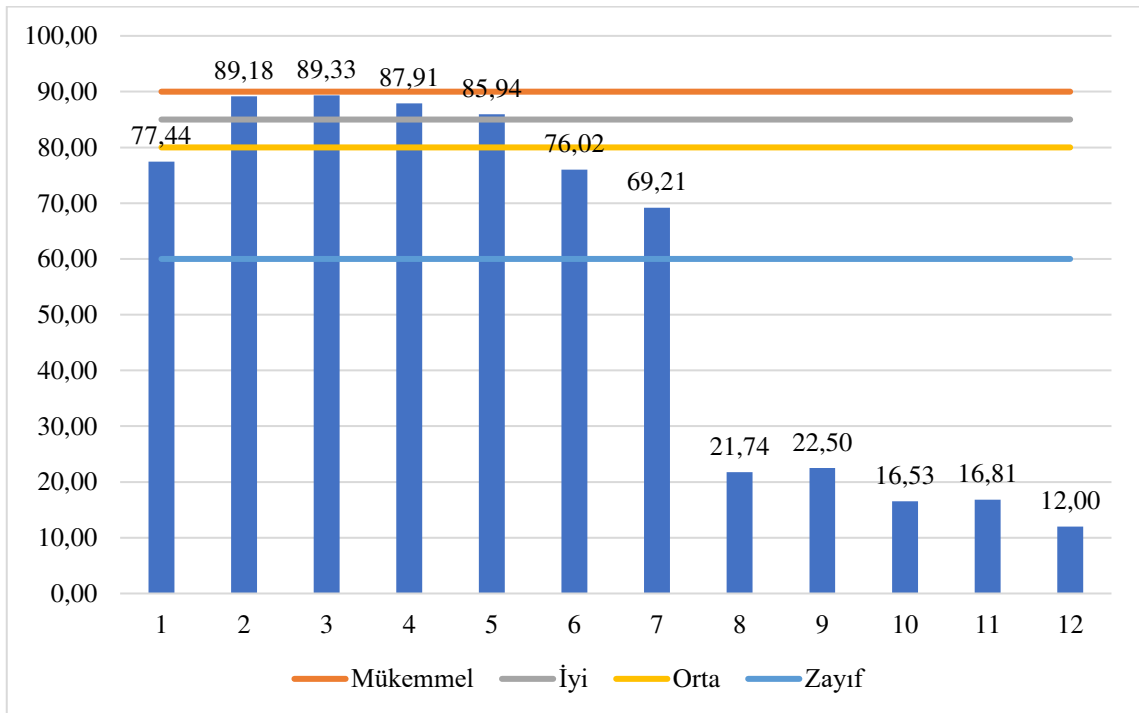
Kış mevsiminde 3, 4 ve 5 no.lu istasyonlar MÜKEMMEL su kalitesine sahiptir. Bu mevsimde en yüksek skor değeri 4 no.lu istasyonda 94,09 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.26). Yine 7 no.lu istasyondaki su kalitesi sınıfının bir önceki mevsime göre ZAYIF kaliteye gerilemesi dikkat çekicidir. Bu mevsimde de 8 no.lu istasyondan mansaba doğru tüm diğer istasyonda su kalitesi ÇOK ZAYIF sınıfta belirlenmiştir (Görsel 4.9).





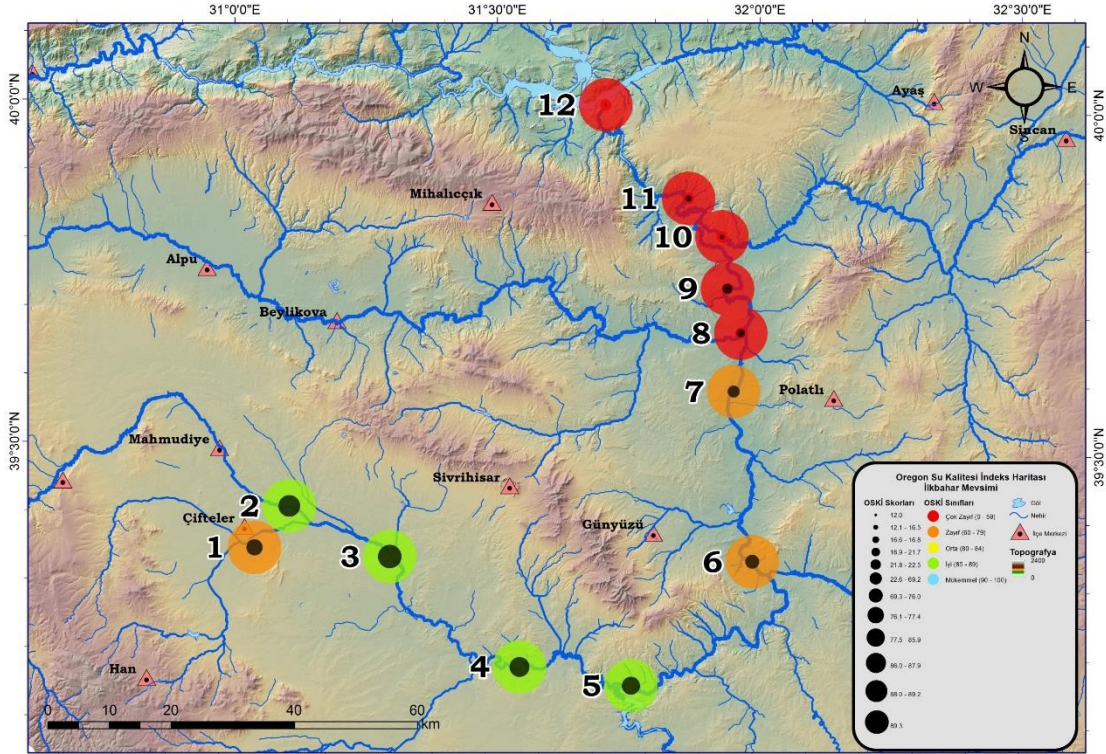
Görsel 4.9. OWQI için kış mevsimi değerleri

İlkbahar mevsiminde 2, 3, 4 ve 5 no.lu istasyonlarda su kalitesi İYİ sınıfta (89,18, 89,33, 87,91 ve 85,94) belirlenmiştir (Şekil 4.27). Memba olan 1 no.lu istasyonda ise su kalitesi ZAYIF (77,44) sınıfta belirlenmiştir.



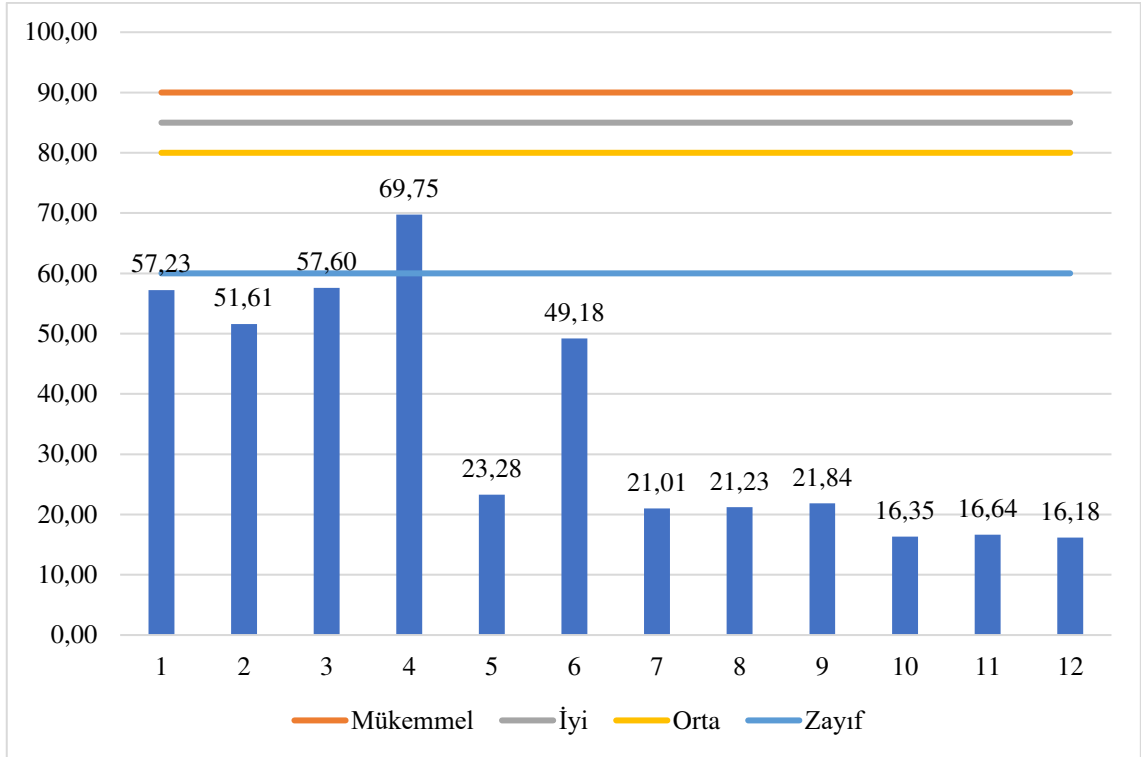
Şekil 4.27. İlkbahar mevsimi OWQI değerleri

Bu mevsimde en düşük su kalitesi, çalışma boyunca tüm mevsimlerde ölçülen en düşük skora sahip 12 no.lu istasyonda ÇOK ZAYIF sınıfta (12,00) belirlenmiştir (Görsel 4.10). Porsuk Çayı (8 no.lu istasyon) ve Ankara Çayı'nın (10 no.lu istasyon) taşıdığı kirlilik yükünün akarsu üzerindeki su kalitesini olumsuz yönde etkilediği özellikle karışım sonrası istasyonlarındaki (9 ve 11 no.lu istasyonlar) dalgalanmalarda açıkça görülmektedir.

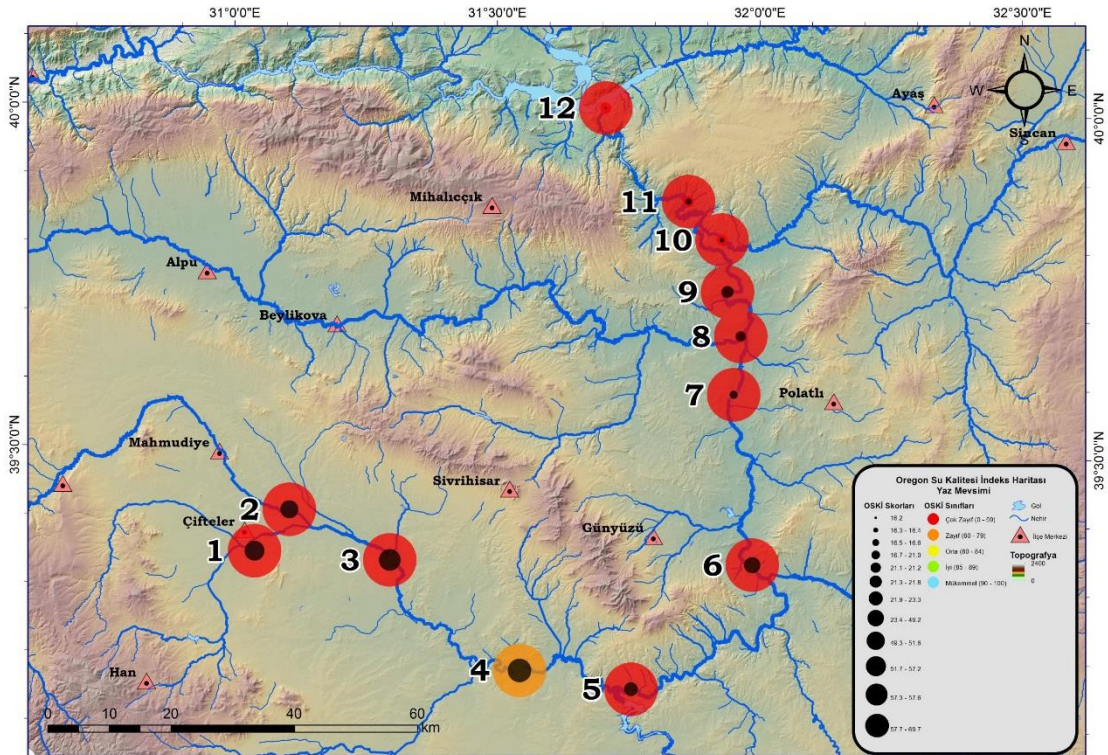


Görsel 4.10. OWQI için ilkbahar mevsimi değerleri

Yaz mevsiminde tüm istasyonlarda su kalitesi ciddi düşüş göstermiştir (Grafik 4.28). Yalnızca 4 no.lu istasyonda ZAYIF su kalitesi (69,75) belirlenmiş olup diğer istasyonların tamamı ÇOK ZAYIF sınıftadır (Şekil 4.28). Membada yer alan 1 no.lu istasyonun her mevsimde bir kalite sınıfı daha azalması dikkat çekicidir. Yaz mevsiminde en kötü su kalitesi 12 no.lu istasyonda ÇOK ZAYIF sınıfta (16,18) belirlenmiştir (Görsel 4.11).



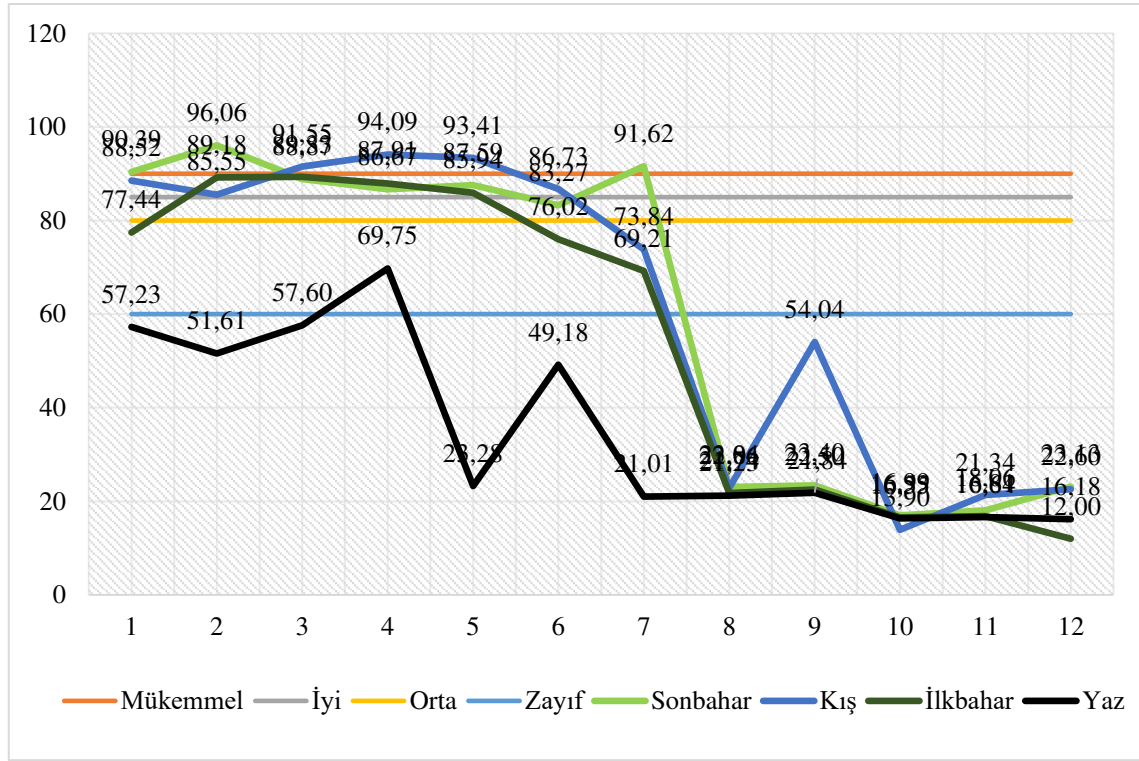
Şekil 4.28. Yaz mevsimi OWQI değerleri



Görsel 4.11. OWQI için yaz mevsimi değerleri

OWQI'nin tüm mevsimlerde ölçülen kalite sınıfları incelendiğinde sonbahar, kış ve ilkbahar mevsiminde elde edilen kalite skorlarının neredeyse örtüşmekte olduğu

görülmektedir. Bu üç mevsimde kalite değişim eğiliminin neredeyse tüm istasyonlarda benzer olduğu görülmektedir (Şekil 4.29). Ancak yaz mevsiminde istasyonlar arasında yaşanan dalgalanma oldukça dikkat çekicidir. Su kalitesinde bir önceki istasyona göre ani düşüşlerin yaşandığı 5 ve 7 no.lu istasyonlardaki biyokimyasal oksijen ihtiyacı parametresinin yüksek olduğu anlaşılmıştır.



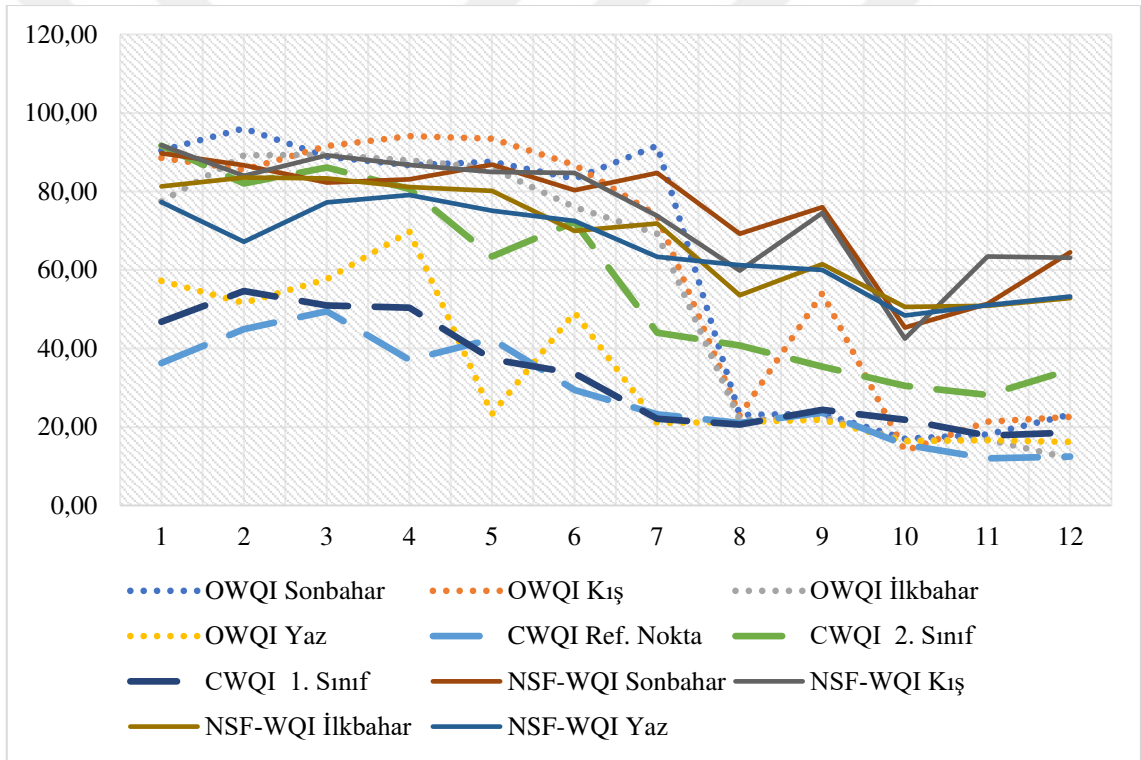
Şekil 4.29. Tüm mevsimlerde ölçülen OWQI değerleri

4.2.4. Kullanılan Su Kalitesi İndekslerinin Birlikte Değerlendirilmesi

Bu bölümde, çalışma boyunca kullanılan üç farklı indekse bağlı olarak hesaplanan 11 farklı senaryo için bulunan kalite sınıfları tartışılacaktır.

NSF-WQI ile yapılan hesaplamalar, dört farklı mevsim için gerçekleştirilmiş olup çalışma alanındaki istasyonlardan tüm yıl boyunca elde edilen kalite durumlarının birbirleriyle örtüştüğü anlaşılmıştır (Şekil 4.30). Akarsuyun kalite durumu tüm mevsimler dikkate alındığında, tüm istasyonlarda benzer artış/azalışlar yaşamıştır. Ayrıca çalışma öncesinde, su kalitesinin en kötü olduğu tahmin edilen 8 ve 10 no.lu istasyonlardaki hesaplanan indeks puanları da beklenen şekilde birbiriyle uyumlu olarak düşük çıkmıştır. Bu açıdan bakıldığında, NSF-WQI'in çalışma alanı için beklenen sonuçlara en uygun tabloyu yansıttığı söylenebilir.

Diğer bir yandan CWQI ise, kullanım amacı bazlı ve referans nokta bazlı yaklaşımlarla toplamda üç farklı senaryoda hesaplanmıştır. Burada dikkati çeken husus, kullanım amacı bazlı yaklaşımda I. sınıf su kalitesi amacı için hesaplanan indeks puanları ile referans nokta bazlı yaklaşımda membada ölçülen değerlerin ortalaması limit değerler alınarak hesaplanan indeks puanlarının benzer artış/azalış eğrilerine sahip olmasıdır (Şekil 4.30). Ancak bahsedilen bu iki yaklaşımla hesaplanan su kalitesi indeksi değerleri akarsuyun mevcut durumu için oldukça kötü bir tablo çizmektedir. Kalite bazlı yaklaşımda I. sınıf su kalitesi için verilen limit değerler dikkate alınarak yapılan hesaplamada, membadan itibaren ilk dört istasyon ZAYIF kalite sınıfında tespit edilmiş olup diğer tüm istasyonlarda su kalitesi KÖTÜ sınıfta tespit edilmiştir.



Şekil 4.30. Tüm su kalitesi indekslerinin istasyonlara göre değişimi

Yine referans nokta bazlı yaklaşımda ise, yıllık ortalama değerleri referans alınan 1 no.lu memba noktası da dahil olmak üzere tüm istasyonlarda su kalitesi indeksi KÖTÜ sınıfta hesaplanmış, yalnızca 3 no.lu istasyonda ZAYIF sınıfta belirlenmiştir. Bu durumda açıkça göstermiştir ki CWQI çalışmalarında gerçeğe en yakın kalite sınıfları belirlenmek isteniyorsa seçilen parametreler için en uygun kullanım amacına yönelik limit değerler baz alınmalıdır. Türkiye’de alıcı ortamın türüne (akarsu, toprak, göl, deniz vb.), su kaynağının konumuna (yerüstü, yeraltı vb.) ve suyun kullanım amacına (içme,

kullanma, sulama vb.) göre yayımlanmış pek çok yasal düzenlemede aynı parametre için onlarca farklı limit değeri yer almaktadır. Bunların dışında özellikle uluslararası kabul görmüş kuruluşların (DSÖ, USEPA, EEA vb.) yayımlandığı limit değerleri bulunmaktadır.

CWQI hesaplamalarında, kullanım amacı bazlı yaklaşımda II. sınıf su kalitesi için verilen limit değerleri baz alındığında hesaplanan indeks değerleri, I. sınıf ve referans nokta yaklaşımında elde edilen değerlerden oldukça farklı olarak belirlenmiştir. Bu yaklaşımda ilk dört istasyon İYİ sınıfta belirlenmiş olup 7 no.lu istasyondan mansaba doğru su kalitesi durumları KÖTÜ sınıfta tespit edilmiştir. Özellikle mansaba doğru azalarak devam eden su kalitesi durumu, çalışma öncesinde tahmin edilen profile uyumaktadır. II. sınıf su kalitesi “Az Kirlenmiş Su” olarak sınıflandırılmakta olup rekreasyonel amaçlar için ve tarımsal sulamada kullanılabilen sulardır. Bu senaryo, Yukarı Sakarya Nehri’nin mevcut durumdaki kullanım amacına uygundur. Dolayısıyla kullanım amacı bazlı su indeksi metodunda Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ile Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği’nden ortaklaşa belirlenen parametreler ışığında, II. sınıf su kalitesi için verilen limit değerlerin, genellikle bu amaca yönelik kullanımların olduğu Yukarı Sakarya Nehri’nde gerçekçi sonuçlar ürettiği belirlenmiştir.

Akkoyunlu ve Akıner (2012) tarafından Sapanca Gölü Havzası’nda bulunan akarsular üzerinde yer alan 8 adet gözlem noktasında yapılan araştırmada, 1987-2007 yıllarında alınan verilerle NSF-WQI, CWQI ve OWQI kullanılarak elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. Yazarlar ayrıca, NSF-WQI’i modifiye ederek WQI_{min} ismiyle daha az parametreyle (sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen, toplam askıda katı ve elektriksel iletkenlik) çalışan ve orijinal indekse göre tutarlı sonuçlar üretebilen bir indeks geliştirmişlerdir. Araştırmacıların 8 farklı gözlem noktasından elde ettikleri verilerin kalite indeksleriyle sınıflandırılması neticesinde, WQI_{min} ismiyle oluşturulan modifiye indeksle elde edilen sonuçların diğerlerine göre daha yüksek kalite puanları elde ettiği görülmektedir. Daha sonra sırasıyla NSF-WQI ve CWQI gelmektedir. Çalışma esnasında elde edilen en düşük kalite puanları OWQI kullanılarak hesaplananlardır. CWQI ile OWQI tarafından raporlanan kalite puanlarının ise aynı eğilime sahip olduğu anlaşılmıştır.

Alexakis vd. (2016) tarafından Aliakmon Nehri'nde (Yunanistan) yapılan çalışmada CWQI ve NSF-WQI'in karşılaştırılması yapılmıştır. Araştırmacılar, çalışma alanından Haziran 2004 ile Mayıs 2005 tarihleri arasında aylık olarak numuneler alarak derinlik, sıcaklık, çözünmüş oksijen, iletkenlik, pH, seki diski derinliği, BOİ, KOİ, toplam fosfor, klorofil-a, amonyum, nitrit, nitrat, toplam Kjeldahl azotu parametrelerini ölçmüşlerdir. Bu parametrelerden uygun olanları ilgili kalite indekslerinde kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Örneğin NSF-WQI'in hesaplanmasında sıcaklık değişimi parametresi kullanılmış ancak bu parametre CWQI'in hesaplanmasında kullanılmamıştır. Yazarlar, çalışmada "sıcaklık" şeklinde ifade etmişlerse de yapılan yayında "sıcaklık değişimi" parametresi, NSF-WQI'in hesaplanmasında kullanılan parametreler arasında gösterilmiştir. Araştırmacılar, bu çalışmada elde edilen kalite sınıfı değerlerini Avrupa Birliği'nin Su Çerçeve Direktifi (WFD) – ECOFRAME yaklaşımıyla elde edilen su kalitesi sınıflarıyla ve sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Aynı istasyonlarda yılın aynı dönemlerinde yapılan çalışmalarda CWQI kalite puanları her zaman NSF-WQI kalite puanlarından düşük olarak bulunmuştur. Bunun yanı sıra NSF-WQI'in çok daha geçerli ve WDF-ECOFRAME yaklaşımına daha yakın sonuçlar ürettiği belirlenmiştir.

Tunç Dede, Telci ve Aral (2013) tarafından Ankara'da bulunan ve kentin en önemli içme suyu kaynağı olan Kirmir Çayı'nda Temmuz 2009 - Mayıs 2010 tarihleri arasında yapılan çalışmada, 10 farklı istasyondan alınan numuneler toplamda 44 parametre bakımından analiz edilmiş ve Kanada su kalitesi indeksi (Canadian Water Quality Index – CWQI), Oregon su kalitesi indeksi (Oregon Water Quality Index – OWQI), sucul zehirlilik indeksi (Aquatic Toxicity Index – ATI), toplam kirlilik indeksi (Overall Index of Pollution – OIP) ile evrensel su kalitesi indeksi (Universal Water Quality Index – UWQI) kullanılarak su kaliteleri karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında CWQI'nin hesaplanmasında çözünmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, renk, bulanıklık, fosfat, fekal koliform, Fe, Mg, As, Ba, Al, B ve alfa-radyoaktivitesi parametreleri kullanılmıştır. OWQI'nin hesaplanmasında, indeksin kapsamında yer alan parametreler seçilerek kullanılmıştır. Ayrıca toplam çözünmüş katı madde parametresi, iletkenlik parametresi değerlerinin 0,67 katsayısıyla çarpılması sonucunda elde edilmiştir. OWQI sonuçlarının incelenmesi neticesinde, toplam çözünmüş katı, amonyak + nitrat azotu, toplam fosfor ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı parametrelerinin su kalitesini olumsuz anlamda en çok etkileyen parametreler olduğu raporlanmıştır. UWQI'in hesaplanmasında

pH, çözülmüş oksijen, nitrat, toplam fosfor, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), toplam koliform, Cd, Hg, As ve Se parametreleri kullanılmış olup sonuca en etkili olan parametrelerin toplam fosfor, BOİ ve arsenik olduğu görülmüştür.

Tunç Dede, Telci ve Aral (2013) tarafından kullanılan indekslerden CWQI'nin, istenilen amaca göre (içme suyu temini, sulama, yüzme, rekreasyonel kullanım vb.) uygun limit değerler seçilerek kolaylıkla modifiye edilebileceği ve kullanım kolaylığı sağlayacağı belirtilmektedir. Bunun yanı sıra OWQI, UWQI, ATI ve OIP gibi alt-indis değerlerine bağlı hesaplama yapan indekslerde ise zaman zaman örtüşme problemi ortaya çıkabileceği değerlendirilmektedir. Örtüşme problemi, önemli bir parametrenin diğer parametrelere göre düşük alt-indis değeri yüzünden etkisinin daha da azalması ve gerçek durumun tam yansıtılamaması olarak açıklanmaktadır. OWQI'de ağırlıksız harmonik ortalamaların kareleri formülü kullandığı için ağırlıklandırmadan gelebilecek hataların minimize edildiği ifade edilmektedir. Yazarlar, tüm çalışma boyunca kullanılan beş indeks içerisinde yalnızca CWQI'nin eldeki tüm parametreleri kullanma olanağı tanıdığını vurgulamaktadırlar. Tüm istasyonlarda en düşük su kalitesi değerleri sırasıyla OWQI ve CWQI ile hesaplanmıştır. Yazarlar elde bulgular ışığında en gerçekçi sonuçların da bu iki indeks tarafından hesaplandığını bildirmişlerdir.

4.3. İstatiksel Analiz

Çalışmada kullanılan indekslerden NSF-WQI ve OWQI, parametreler için alt indisler kullanarak mevsimsel su kalitesi hesaplamaya olanak sağlamaktadır. CWQI ise alt indis kullanmamakta olup hesaplama için en az dört parametre ve dörder ölçüm değerine ihtiyaç duymaktadır. Dolayısıyla CWQI ile hesaplanan indeks değerleri istasyonlardaki çalışma boyunca saptanan dört mevsimlik (yıllık) su kalitesi değerini ifade etmektedir.

Çizelge 4.9'da NSF-WQI hesaplamasında kullanılan parametreler ve kalite puanları arasındaki korelasyon matrisi verilmektedir. Buna göre; kalite puanını pozitif yönde en çok etkileyen parametre çözülmüş oksijen doygunluğu (%) parametresidir. Kalite puanını negatif yönde en çok etkileyen parametrenin ise toplam fosfor parametresi olduğu görülmektedir. Parametreler arası ilişkiler incelendiğinde, toplam fosfor parametresinin çözülmüş oksijen doygunluğu (%) ile negatif yönde, biyokimyasal oksijen ihtiyacı parametresi ile pozitif yönde anlamlı bir ilişkisi olduğu söylenebilir.

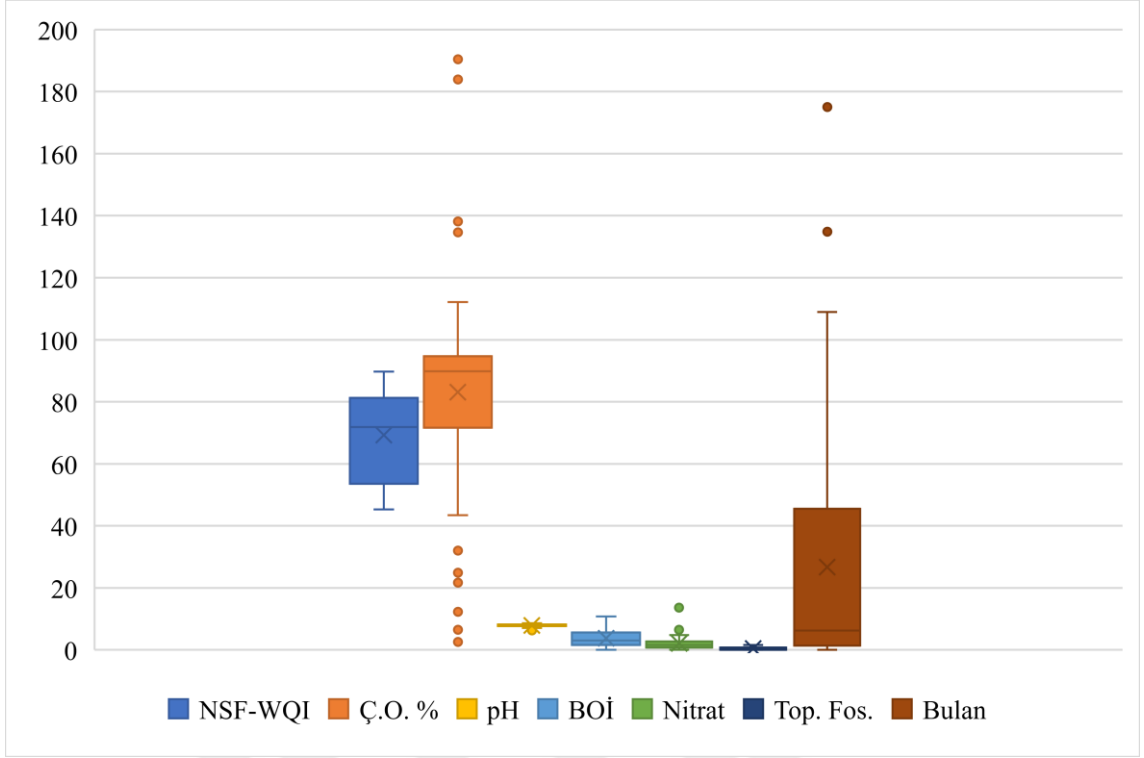
Çizelge 4.10’da NSF-WQI hesaplamalarında kullanılan 48 veriden oluşan veri setine ait tanımlayıcı istatistikler yer almaktadır. Özellikle fekal koliform parametresi için standart sapmanın yüksek olduğu görülmektedir. Bu parametre için çalışma süresince ölçülen en düşük değerin 9, en yüksek değerin ise yöntemin üst sınırı olan 1100 olduğu görülmektedir (Şekil 4.32). Benzer bir şekilde, yüzdece oksijen doygunluğunun da ölçülen en büyük ve en küçük değerler göz önüne alındığında standart sapma değerinin 37,3 olarak saptandığı anlaşılmaktadır (Şekil 4.31). Standart sapma değerlerinin yüksek olduğu bu iki parametrenin indeksin hesaplanması sırasında en yüksek ağırlık derecesine sahip olan iki parametre olması çok önemlidir. Çünkü bu iki parametrenin çalışma alanında oldukça geniş bir aralıkta değişmesi sonucu bazı mevsimlerde ardışık istasyonlar arasında büyük kalite farkları ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.9. NSF-WQI için korelasyon matrisi

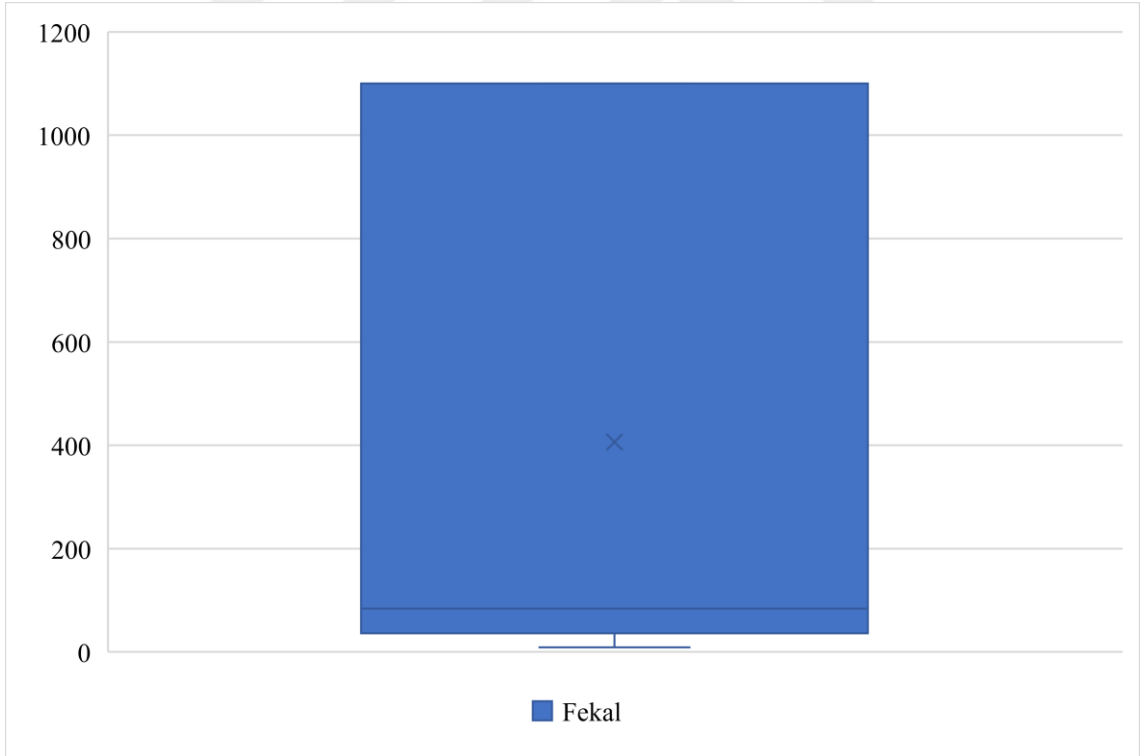
	NSF-WQI	Ç.O. %	Fekal	pH	BOİ	Nitrat	Top. Fos.	Bulan
NSF-WQI	1							
Ç.O. %	0,444084	1						
Fekal	-0,53729	-0,05941	1					
pH	0,075454	0,268973	-0,17801	1				
BOİ	-0,69475	-0,1123	0,484677	-0,14929	1			
Nitrat	-0,25654	0,339005	0,3685	0,061254	0,295888	1		
Top. Fos.	-0,83152	-0,66121	0,331952	-0,14691	0,613324	-0,09414	1	
Bulan	-0,47186	-0,19084	0,094401	0,228458	0,270504	0,189862	0,445191	1

Çizelge 4.10. NSF-WQI için tanımlayıcı istatistikler

	NSF-WQI	Ç.O. %	Fekal	pH	BOİ	Nitrat	Top. Fos.	Bulan
Ortalama	69,301	83,076	406,333	7,856	3,791	2,106	0,394	26,654
Standart Hata	1,924	5,396	67,637	0,059	0,420	0,335	0,074	5,871
Ortanca	71,838	89,850	84,000	7,950	3,055	1,560	0,115	6,185
Mod	81,295	92,500	1100,000	8,280	0,700	1,930	0,000	0,000
Standart Sapma	13,331	37,385	468,606	0,411	2,908	2,320	0,513	40,678
Basıklık	-1,398	1,749	-1,338	3,305	-0,380	12,356	0,159	3,381
Çarpıklık	-0,300	0,193	0,728	-1,316	0,783	2,963	1,221	1,917
En Küçük	45,325	2,600	9,000	6,290	0,000	0,028	0,000	0,000
En Büyük	89,711	190,400	1100,000	8,640	10,800	13,600	1,610	175,000



Şekil 4.31. NSF-WQI için kutu grafiği (Fekal koliform parametresi hariç)



Şekil 4.32. NSF-WQI için kutu grafiği (Fekal koliform parametresi için)

CWQI'nin hesaplanmasında F_1 , F_2 , F_3 parametrelerine ve toplam sapmaların deney sayısına oranını veren nse parametresine ihtiyaç duyulmaktadır. Su kalite indeksini doğrudan etkileyen dört parametre bu sayılanlardır. CWQI'nin hesaplanmasında,

kullanım amacı ve referans nokta esaslı iki farklı yaklaşıma bağlı, üç adet hesaplama yapılmıştır.

Kullanım amacına göre yapılan hesaplamada, Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği “EK-5 Yerüstü Su Kütlelerinde Bazı Parametreler İçin Çevresel Kalite Standartları ve Kullanım Maksatları” tablosu ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’nin “Tablo 1: Kıta içi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri” tablosu kullanılmıştır. Bu tabloda yer alan I. ve II. su kalite sınıfları için ayrı ayrı indeks hesaplaması yapılmıştır.

Çizelge 4.11’de, I. sınıf su kullanım amacı için verilen sınır değerler baz alınarak yapılan hesaplama ait korelasyon matrisi verilmektedir. Buna göre, tüm parametreler ile CWQII olarak ifade edilen indeks skoru arasında yüksek anlamlı bir bağlantı bulunmaktadır. Kullanılan nihai hesaplama formülünde F_1 , F_2 ve F_3 ’ün doğrudan sonuca etkisi olduğu görülmektedir. Ancak nse parametresi F_3 değerinin hesaplanmasında kullanıldığı için bu parametrenin diğer bileşenlerle olan ilgisi önemlidir. Bu doğrultuda, nse ’nin F_3 ’ün yanı sıra, F_2 ile pozitif yönde yüksek ilişkili olduğu görülmektedir. Bu senaryoda, kalite puanına en büyük etkinin negatif yönde F_2 tarafından olduğu anlaşılmıştır.

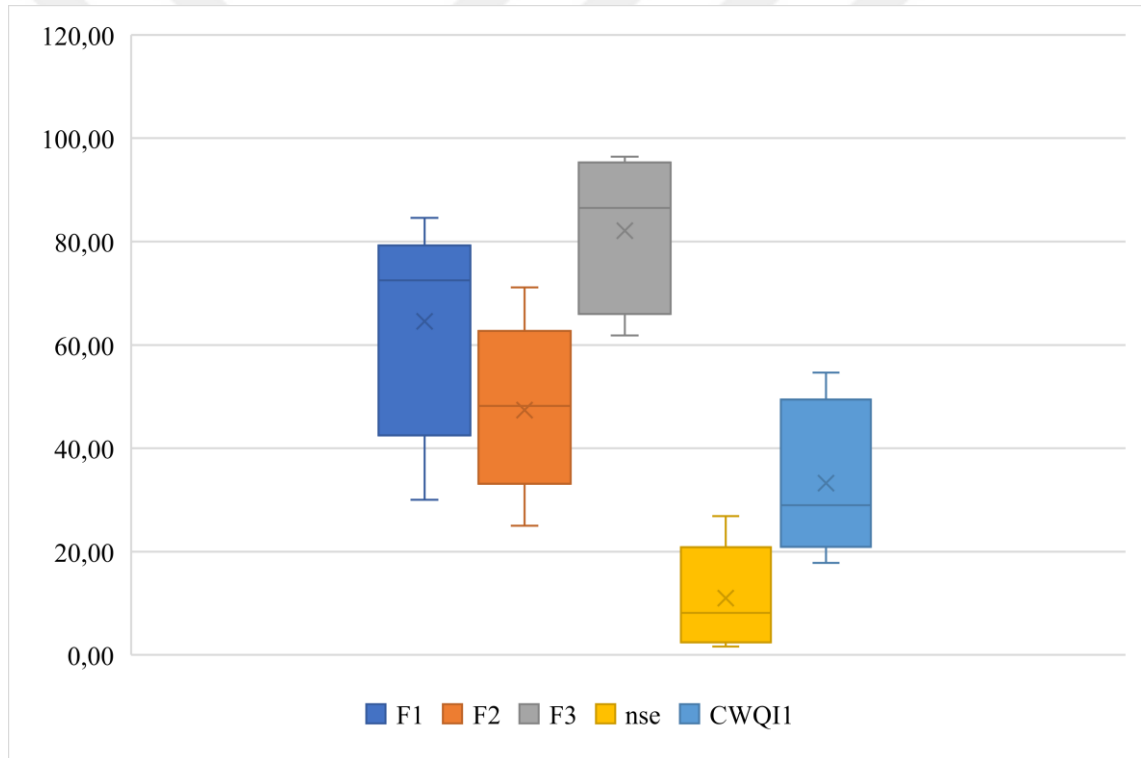
Çizelge 4.11. CWQII I. Sınıf su kullanım amacı parametreleri için korelasyon matrisi

	F1	F2	F3	nse	CWQII
F1	1				
F2	0,775828	1			
F3	0,595331	0,870244	1		
nse	0,584481	0,943793	0,876548	1	
CWQII	-0,87926	-0,95539	-0,89606	-0,86267805	1

1. sınıf su kullanım amacı için verilen sınır değerler baz alınarak gerçekleştirilen senaryoda, kullanılan tüm parametrelerin standart sapma değerlerinin geniş bir dağılım gösterdiği anlaşılmıştır (Çizelge 4.12). Özellikle F_1 parametresi için bu değer diğerlerine göre daha yüksektir. Parametreler arası basıklık-çarpıklık değerleri karşılaştırıldığında veri kümelerinin yapısında büyük farklılıklar olmadığı anlaşılmaktadır. CWQII ve nse veri kümelerinin sağa doğru çarpık, F_1 ve F_3 veri kümelerinin ise sola doğru çarpık oldukları görülmektedir (Şekil 4.33).

Çizelge 4.12. *CWQI I. sınıf su kullanım amacı parametreleri için tanımlayıcı istatistikler*

	F1	F2	F3	nse	CWQI1
Ortalama	64,54	47,36	82,14	10,97	33,24
Standart Hata	5,52	4,74	4,11	2,83	4,09
Ortanca	72,50	48,17	86,49	8,10	28,99
Mod	40,00	25,00			
Standart Sapma	19,11	16,41	14,25	9,79	14,17
Basıklık	-1,01	-1,34	-1,60	-1,28	-1,71
Çarpıklık	-0,81	0,07	-0,46	0,61	0,40
En Küçük	30,00	25,00	61,85	1,63	17,79
En Büyük	84,62	71,15	96,41	26,84	54,63



Şekil 4.33. *CWQI I. Sınıf su kalitesi parametreleri için kutu grafiği*

Çizelge 4.13’te, II. sınıf su kullanım amacı için verilen sınır değerler baz alınarak yapılan hesaplamaa ait korelasyon matrisi verilmektedir. Kalite puanına (CWQI2) en büyük etkinin negatif yönde F₂ tarafından olduğu anlaşılmıştır. Bu senaryoda, bir öncekinden farklı olarak nse değerinin F₃ değeriyle pozitif yönde yüksek anlamlı olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.13. CWQI II. sınıf su kullanım amacı parametreleri için korelasyon matrisi

	F1	F2	F3	nse	CWQI2
F1	1				
F2	0,890148	1			
F3	0,792902	0,917711	1		
nse	0,670415	0,830511	0,920457	1	
CWQI	-0,942731	-0,968274	-0,94562	-0,85701823	1

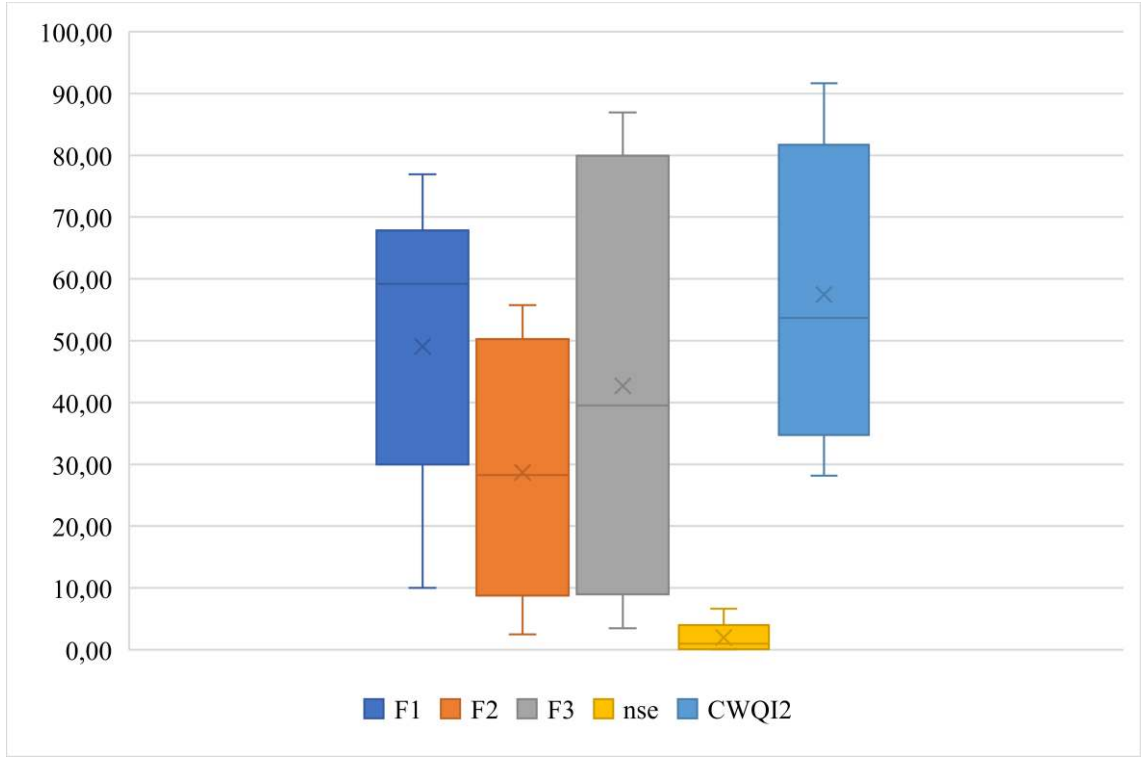
Çizelge 4.14 incelendiğinde, standart sapma değerlerinin önceki senaryoya göre dikkat çekici bir şekilde arttığı görülmektedir. F₃ değeri, kirletici parametrelerin limit değerleri ne oranda aştığının bir göstergesi olup bu değerde standart sapmaların yüksek olması, limit aşımalarının da yüksek olduğu fikrini vermektedir. Yine nse parametresinin sağa çarpık olduğu anlaşılmaktadır. Bir önceki senaryoya göre tüm parametrelerin (nse hariç) basıklığının daha az olduğu, F₃ parametresini oluşturan veri kümesinin ise sivri sayılabileceği görülmektedir (Şekil 4.34).

Çizelge 4.14. CWQI II. sınıf su kullanım amacı parametreleri için tanımlayıcı istatistikler

	F1	F2	F3	nse	CWQI2
Ortalama	49,07	28,69	42,69	1,97	57,44
Standart Hata	6,36	5,60	10,45	0,66	6,99
Ortanca	59,17	28,30	39,51	1,00	53,70
Mod	30,00	7,50			
Standart Sapma	22,04	19,40	36,19	2,30	24,21
Basıklık	-1,13	-1,47	-2,26	-0,38	-1,91
Çarpıklık	-0,55	0,17	0,07	0,89	0,15
En Küçük	10,00	2,50	3,47	0,04	28,16
En Büyük	76,92	55,77	86,94	6,66	91,66

Çizelge 4.15. CWQI referans noktaya göre su kalitesi parametreleri için korelasyon matrisi

	F1	F2	F3	nse	CWQI-RN
F1	1				
F2	0,741678	1			
F3	0,534858	0,918785	1		
nse	0,443043	0,832914	0,880068	1	
CWQI-RN	-0,81511	-0,98098	-0,91922	-0,81682	1



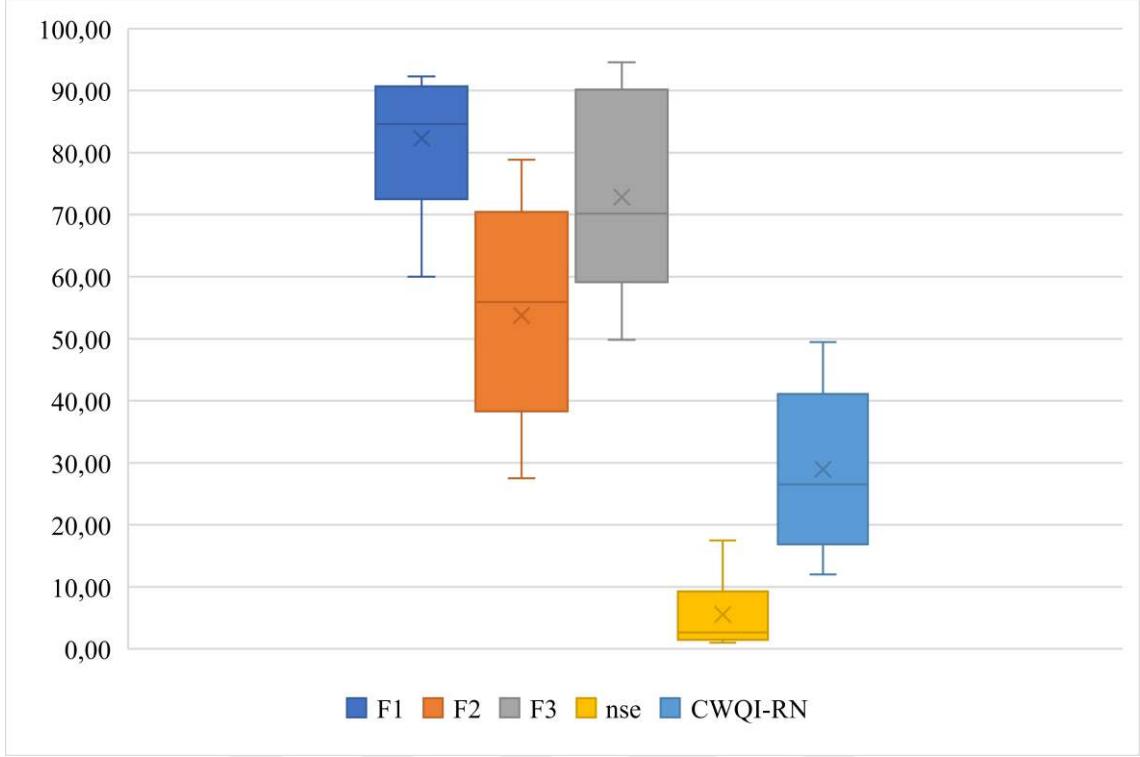
Şekil 4.34. CWQI 2. Sınıf su kalitesi parametreleri için kutu grafiği

CWQI’de son olarak, belirlenen referans noktaya göre hesaplanan su kalitesi için kullanılan parametreler arasındaki ilişkiyi gösteren Çizelge 4.15’te, yine F₂ parametresinin su kalitesi puanına (CWQI-RN) negatif yönde büyük ilişkisi olduğu görülmüştür. Bir önceki senaryoya uyumlu olarak nse ve F₃’ün pozitif yönde anlamlı ilişkisi olduğu anlaşılmıştır.

Belirlenen referans noktaya göre hesaplanan su kalitesi için kullanılan parametreler arasındaki standart sapmanın en yüksek F₂ ve F₃ parametrelerinde olduğu görülmektedir (Çizelge 4.16). Bir önceki senaryoya göre, bu veri setinin daha basık olduğu anlaşılmaktadır. nse parametresine ait veri setinin sağa çarpık olduğu görülmektedir (Grafik 4.35).

Çizelge 4.16. CWQI referans noktaya göre su kalitesi parametreleri için tanımlayıcı istatistikler

	F1	F2	F3	nse	CWQI-RN
Ortalama	82,34	53,75	72,80	5,52	28,94
Standart Hata	3,03	5,08	4,82	1,66	3,74
Ortanca	84,62	55,91	70,18	2,64	26,51
Mod	90,00				
Standart Sapma	10,49	17,58	16,68	5,75	12,94
Basıklık	0,23	-1,35	-1,86	0,40	-1,35
Çarpıklık	-1,08	0,02	0,09	1,27	0,17
En Küçük	60,00	27,50	49,82	0,99	12,00
En Büyük	92,31	78,85	94,59	17,48	49,47



Şekil 4.35. CWQI referans noktaya göre su kalitesi parametreleri için kutu grafiği

OWQI'nin hesaplanmasında kullanılan sıcaklık, çözülmüş oksijen, çözülmüş oksijen doygunluğu, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, toplam fosfor, fekal koliform ve pH parametreleri arasındaki korelasyon Çizelge 4.17'de verilmektedir. Söz konusu parametreler alt-indislere bağlı olarak final skoruna doğrudan etki etmektedirler. Su kalitesi skoruyla (OWQI) biyokimyasal oksijen ihtiyacı, toplam fosfor ve fekal koliform parametreleri arasında negatif yönde; çözülmüş oksijen derişimi parametresiyle ise pozitif yönde anlamlı bir ilişki bulunduğu görülmektedir. Burada çözülmüş oksijen derişimi ile yüzde çözülmüş oksijen doygunluğu parametreleri arasında hiçbir ilişki kurulmadığı görülmüştür. Çünkü bu indeksin hesaplanmasında, eğer yüzde çözülmüş oksijen doygunluğu %100'den küçük ise hesaplamalarda çözülmüş oksijen derişimi değeri kullanılır. Yalnızca süper doygunluk (Ç.O.%> 100) durumunda ilgili alt-indisten yüzde çözülmüş oksijen doygunluğu değeri okunur. Aynı anda her iki parametre hesaplamalara dahil olmadığı için de aralarında bir bağlantı yoktur. Parametreler arası ilişkiler incelendiğinde ise, toplam fosfor ve çözülmüş oksijen derişimi parametreleri arasında negatif yönde anlamlı bir ilişki kurulabildiği görülmektedir.

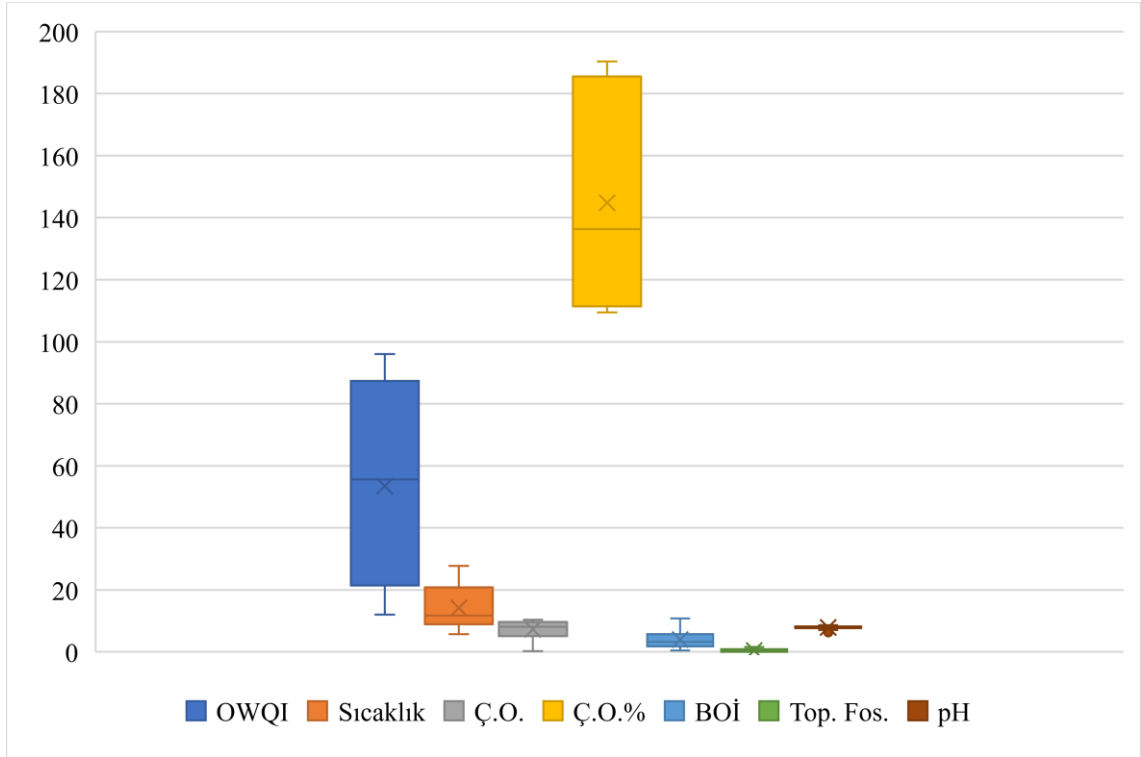
Çizelge 4.17. OWQI için korelasyon matrisi

	OWQI	Sıcaklık	Ç.O.	Ç.O.%	BOİ	Top. Fos.	Fekal	pH
OWQI	1							
Sıcaklık	-0,31219	1						
Ç.O.	0,659522	-0,50674	1					
Ç.O.%	-0,48894	0,54366		1				
BOİ	-0,79766	0,255895	-0,4902	0,482463	1			
Top. Fos.	-0,736	-0,08283	-0,72643	-0,125	0,544508	1		
Fekal	-0,60573	0,569726	-0,44457	0,253221	0,46283	0,234355	1	
pH	0,242935	-0,30617	0,409356	-0,21069	-0,10801	-0,29174	-0,17801	1

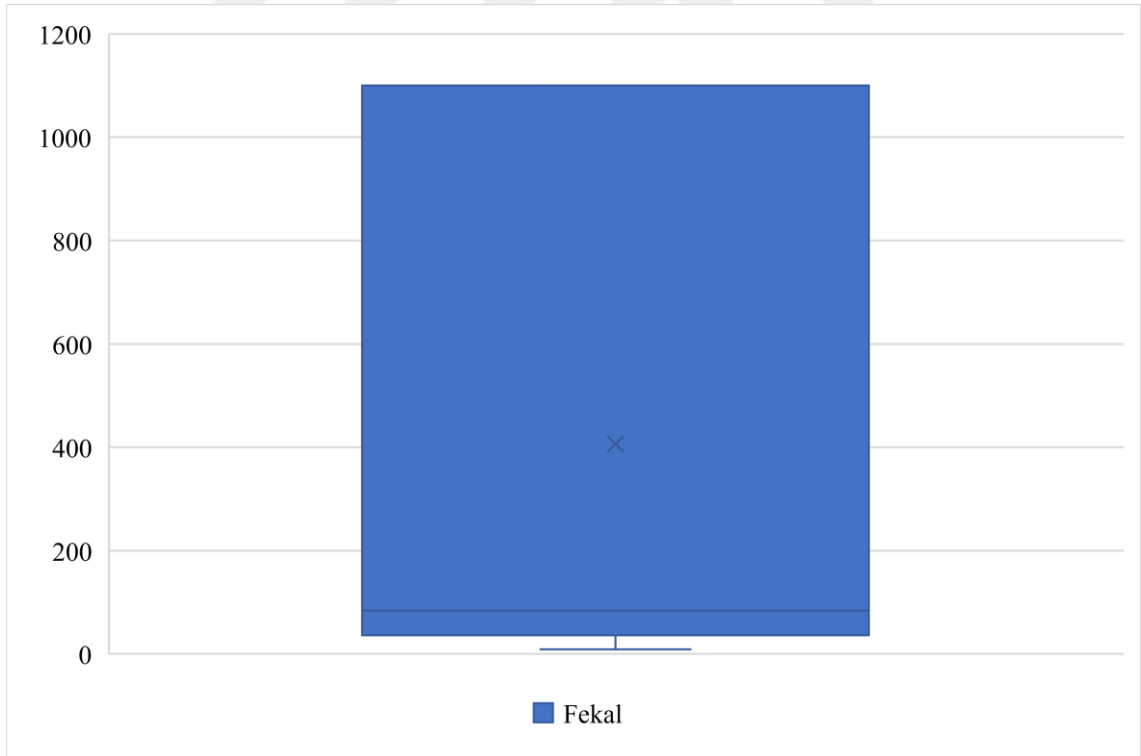
Çizelge 4.18’de OWQI’nin hesaplanmasında kullanılan veri setine ait tanımlayıcı istatistikler yer almaktadır. Standart sapma değerinin özellikle fekal koliform parametresi için dikkat çekici bir şekilde yüksek olduğu görülmektedir. Bu parametre için çalışma süresince ölçülen en düşük değerin 9 ve en yüksek değerin ise yöntemin üst sınırı olan 1100’dur. NSF-WQI’e benzer şekilde, yüzdece oksijen doygunluğunun da ölçülen en büyük ve en küçük değerler göz önüne alındığında standart sapma değerinin 34,85 olarak saptandığı anlaşılmaktadır (Çizelge 4.18). Standart sapma değerlerinin yüksek olduğu bu iki parametrenin indeksin hesaplanması sırasında eşit ağırlığa sahiptir. Fekal koliform parametresini, standart sapma değerinin yüksek olması nedeniyle ayrı bir kutu grafiğiyle gösterilmiştir (Şekil 4.37).

Çizelge 4.18. OWQI için tanımlayıcı istatistikler

	OWQI	Sıcaklık	Ç.O.	Ç.O.%	BOİ	Top. Fos.	Fekal	pH
Ortalama	53,42	14,15	7,30	144,77	3,96	0,47	406,33	7,86
Standart Hata	4,63	1,00	0,46	14,23	0,42	0,08	67,64	0,06
Ortanca	55,63	11,65	8,07	136,35	3,21	0,21	84,00	7,95
Mod		8,90	8,99		0,70	0,13	1100,00	8,28
Standart Sapma	32,06	6,92	2,97	34,85	2,86	0,53	468,61	0,41
Basıklık	-1,84	-0,96	0,06	-1,80	-0,41	-0,42	-1,34	3,30
Çarpıklık	0,00	0,81	-1,08	0,53	0,79	0,98	0,73	-1,32
En Büyük	12,00	5,70	0,26	109,50	0,40	0,00	9,00	6,29
En Küçük	96,06	27,70	10,39	190,40	10,80	1,61	1100,00	8,64



Şekil 4.36. OWQI için kutu grafiği (Fekal koliform parametresi hariç)



Şekil 4.37. OWQI için kutu grafiği (Fekal koliform parametresi için)

5. SONUÇ

Modern Dünya'yı bekleyen en büyük sorunlardan birisi, yakın bir gelecekte yaşanmasına artık kesin olarak bakılan su kıtlığıdır. Mevcut yüzeysel su kaynaklarının kirletilmesi, yeraltı su kaynaklarının ise aşırı tüketilmesi sonucunda erişilebilir temiz su miktarının her geçen yıl azaldığı görülmektedir.

Suya olan talebin giderek artması, bu talebin niteliğini yani “su kullanım amacı” kavramını ön plana çıkarmaktadır. Su kullanım amacı, bir su kaynağından herhangi bir yöntemle çekilen suyun hedeflenen kullanım şeklidir. İçme ve insani tüketim amaçlı, tarımsal sulama amaçlı, endüstriyel üretim amaçlı ya da soğutma suyu olarak kullanım amacıyla yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarından su çekilmektedir. İyi kalitede olan sular genellikle içme ve insani tüketim amacıyla kullanılırken daha düşük kalitede olan sular ise diğer alternatif amaçlar için kullanılmaktadır.

Su kalitesi, bir su kütlesinin belirli kullanım amacına uygunluğu ile o kütlenin/kaynağın durumunu gösteren bir ölçüdür. Su kalitesinin belirlenebilmesi için çok sayıda kirletici parametrenin mümkün olan en sık periyotlarla takip edilerek tespit edilmesi gereklidir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar sonucunda, araştırmacıların ellerinde genellikle pek çok parametreye ait farklı anlarda ya da lokasyonlarda ölçülmüş parametre verileri bulunmaktadır. Eldeki veri kümesinin büyüklüğü, araştırmacıları daha anlaşılır ve pratik bir yöntem geliştirmeye teşvik etmiştir. Bu noktadan hareketle ortaya çıkan su kalitesi indeksi, bir su kütlesi hakkında yapılan izleme ve analiz çalışmalarını en anlaşılır şekilde özetleyen ve ölçeklendiren yöntemdir (Şahin, 2018).

Sakarya Havzası, Türkiye'nin başkenti Ankara'yı ve önemli sanayi ve kültür şehirleri arasında sayılan Eskişehir ve Sakarya illeri ile Kütahya, Bolu ve Kocaeli illerinin bir kısmı içine alan Türkiye'nin yağış alanı bakımından en büyük üçüncü havzasıdır.

Sakarya Nehri'nin membaından doğarak Sarıyar Barajı'na kadar ulaşan kısmına Yukarı Sakarya Nehri denilmektedir. Yukarı Sakarya Nehri'nde yapılan bu tez çalışmasıyla, akarsuyun bu kesiminde ilk defa mevsimsel olarak ve birden fazla istasyonda, su kalitesi izleme ve farklı su kalitesi indekslerine göre indeks sınıfı belirleme çalışması yapılmıştır. Bu amaçla; Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeksi (NSF-

WQI), Kanada Su Kalitesi İndeksi (CWQI) ve Oregon Su Kalitesi İndeksi (OWQI) kullanılmıştır.

NSF-WQI hesaplanmasında indeks yeniden düzenlenerek çözünmüş oksijen doygunluğu (%), fekal koliform (EMS/100 mL), pH, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (mg/L), nitrat (mg/L), toplam fosfor (mg/L) ve bulanıklık (NTU) parametreleri kullanılmıştır. Söz konusu indeks kullanılarak hesaplanan mevsimsel kalite durumları incelendiğinde, NSF-WQI'in çalışma alanının tümünde daha olumlu bir görüntü oluşturduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca çalışma alanında kalite durumları bakımından belirli istasyonlarda beklenen sonuçlar, büyük bir tutarlılıkla ortaya konulmuştur. Akarsuyun membaı olan 1 no.lu istasyon, kalite durumunun en iyi olduğu istasyon olarak belirlenirken, en yoğun kirlilik yükünü taşıdığı düşünülen Ankara Çayı'nın bağlantı noktasında olan 10 no.lu istasyon ise kalite durumunun en kötü olduğu istasyon olarak belirlenmiştir. Bu açıdan NSF-WQI'nin, çalışma öncesindeki tahminlerle en uyumlu indeks olduğu söylenebilir.

CWQI hesaplanmasında ise iki farklı yaklaşıma bağlı olarak üç farklı senaryoya göre su kalitesi sınıfları belirlenmiştir. Buna göre ilk olarak, Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği ile Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde verilen I. ve II. sınıf su kaliteleri esas alınarak parametrelerin limit değerleri belirlenmiş ve kullanım amaçları baz alınarak I. ve II. sınıf kullanım amaçları için CWQI değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca, çalışma alanındaki 1 no.lu istasyon referans ve kirlenmemiş nokta olarak belirlenmiş, bu istasyonda dört mevsim boyunca ölçülen değerlerin ortalamaları limit değerler olarak kabul edilerek bu limit değerlere göre CWQI hesaplanmıştır. NSF-WQI'nin aksine, CWQI metoduyla tüm çalışma alanının mevsimlere göre değil, bütün yılı temsil eden kalite sınıfları belirlenebilmiştir.

Kullanım amacı bazlı su kalitesi indeksinin hesaplanmasında ilk olarak I. sınıf su kalitesi için belirlenen limit değerler kullanılmıştır. Buna göre, tüm çalışma alanında düşük kalite skorları elde edilmiştir. Membadan mansaba doğru ilk dört istasyon ZAYIF, diğer tüm istasyonlar ise KÖTÜ su kalitesinde belirlenmiştir. I. sınıf su kalitesi değerleri, içme suyu temininde kullanılabilecek yüzeysel sular için belirlendiğinden ve akarsuyun mevcut durumda böyle bir kullanım amacı olmaması nedeniyle, bu yaklaşımla hesaplanan kalite sınıflarının gerçek durumu tam anlamıyla yansıtmadığı

düşünülmektedir. Yine kullanım amacı bazlı su kalitesi indeksinin II. sınıf su kalitesi için hesaplanmasında ise daha gerçekçi sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre, membada mansaba doğru ilk dört istasyon İYİ su kalitesinde tespit edilmiştir. Memba en yüksek kalite puanına sahiptir. Diğer istasyonlarda ise su kalitesi azalarak mansaba ulaşmaktadır. Kirletici yükün fazla olduğu düşünülen Porsuk Çayı bağlantı noktası (8 no.lu istasyon) ve Ankara Çayı bağlantı noktasında (10 no.lu istasyon) su kaliteleri KÖTÜ sınıfta belirlenmiştir. II. sınıf su kalitesi “Az Kirlenmiş Su” olarak sınıflandırılmakta olup rekreasyonel amaçlar için ve tarımsal sulamada kullanılabilen sulardır. Bu senaryo, Yukarı Sakarya Nehri’nin mevcut durumdaki kullanım amacına uygundur. Dolayısıyla CWQI’nin hesaplanmasında en doğru yaklaşım, çalışmanın yapılacağı yüzeysel suyun kullanım amacının dikkate alınarak sınır değerlerinin belirlenmesidir.

CWQI’in hesaplanmasında, referans nokta bazlı su kalite indeksinin belirlenmesi sürecinde, her türlü kirleticiden uzak olduğu düşünülen ve Yukarı Sakarya Nehri’nin membaı olan 1 no.lu istasyondan dört mevsim boyunca alınan numunelerin yıllık ortalama derişimleri, her bir parametre için limit değer olarak kabul edilmiştir. 1 no.lu istasyonun yıllık ortalamalarının referans alınmasıyla hesaplanan CWQI değerleri, tüm çalışma alanında ve çalışılan diğer indeksler içerisinde en kötü kalite sınıflarını ortaya koymuştur. Tüm yıl boyunca, yalnızca 3 no.lu istasyon ZAYIF su kalitesinde belirlenmiş olup diğer tüm istasyonlarda su kaliteleri KÖTÜ sınıftadır. Bu açıdan bakıldığında, istasyonların temsil ettiği düşünülen kirlilik yükleri, gerçek değerlerine yakın olabilecek şekilde gösterilememiştir. Kalite puanlarına bakıldığında ise en kirli olduğu düşünülen 10 no.lu istasyondan daha kirli olarak 11 ve 12 no.lu istasyonlar dikkati çekmektedir. Bu noktada bir diğer önemli husus ise, her türlü kirletici etkiden uzak olduğu düşünülen 1 no.lu istasyonda, fekal koliform değerinin yaz mevsiminde üst değerlerde tespit edilmiş olmasıdır. Bu durumun, memba civarında bulunan rekreasyon ve eğlence tesislerinin yaz sezonunda çok fazla sayıda misafiri ağırlamaları ve bu tesislerden kaynaklı kontrolsüz evsel atıksu deşarjlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

CWQI ile yapılacak çalışmalarda çok daha fazla parametre ve test sayısı ile, elde edilecek kalite değerinin tutarlılığı da artacaktır. Çalışmanın geneline bakıldığında, kullanılan parametreler için özel bir ağırlık değeri atanmamış olduğu için CWQI ile yapılan hesaplamaların daha katı ve az toleranslı olduğu söylenebilir. Örneğin sucul ortamlarda çözünmüş oksijen derişimi parametresinin, sertlik parametresine göre daha

etkili olduğu söylenebilir. Ancak CWQI'in hesaplama mekanizması bu iki parametreye de eşit derecede önem vermektedir.

OWQI, Dünya'da su kalite indeksi denilince akla ilk gelen indekslerden olmasına karşın, özellikle Birleşik Devletler'deki Oregon Eyaleti'nde yer alan havzalara göre özel parametreler içermesi bakımından araştırmacılar tarafından çok fazla tercih edilmemektedir. Söz konusu indeks de yeniden düzenlenerek Yukarı Sakarya Nehri'nde kullanılmıştır. İndeksin hesaplanmasında sıcaklık, çözünmüş oksijen (yüzdece doygunluk ve derişim), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), pH, toplam katı madde, amonyak ve nitrat azotu, toplam fosfor ve fekal koliform parametreleri kullanılır (Cude, 2001). Bu çalışmada toplam katı madde ve amonyak parametreleri ölçülmediği için hesaplamalarda bu iki parametre kullanılmamıştır.

OWQI kullanılarak yapılan çalışma sonucunda elde edilen kalite sınıfları, mevsimlere göre büyük değişiklikler göstermiştir. Bu açıdan bakıldığında NSF-WQI ile CWQI hesaplamalarının, tüm istasyonlarda mevsimsel olarak benzer dağılımlar gösterdiği, ancak OWQI değerlerinin mevsimler arasında ciddi dalgalanmalar gösterdiği anlaşılmıştır. Örneğin sonbahar mevsiminde 1, 2 ve 7 no.lu istasyonlarda su kalitesinin MÜKEMMEL seviyede tespit edilmesine karşın, bir sonraki mevsimde 3,4 ve 5 no.lu istasyonlar MÜKEMMEL sınıfta yer almıştır. 7 no.lu istasyonda, diğer indekslerle İYİ, ORTA ve KÖTÜ kalite sınıflarında sonuçlar elde edilmiştir. Aynı istasyon, sonbahar mevsiminde MÜKEMMEL sınıfta yer alırken diğer mevsimlerde çok radikal bir düşüş yaşayarak ZAYIF ve ÇOK ZAYIF sınıflarda yer alabilmiştir. Bu tür ciddi değişimler karar vericiler için çelişkiler doğurabilmektedir. OWQI ile yapılan çalışmada, tüm mevsimlerde 8 no.lu istasyondan mansaba doğru diğer tüm istasyonlarda su kalitesi ÇOK ZAYIF sınıfta belirlenmiştir. Özellikle yaz mevsiminde mambadan mansaba doğru yalnızca 4 no.lu istasyon ZAYIF sınıfta, diğer istasyonların tamamı ÇOK ZAYIF sınıfta belirlenmiştir.

Çalışma boyunca kullanılan üç indeksin avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiştir. Buna göre, yapılacak çalışmasının ölçeğine ve ulaşmak istenen kamuoyu hedefine göre bir indeks seçilmelidir. Uluslararası nitelikteki çalışmalarda NSF-WQI'in kullanılmasının daha uygun olacağı ön görülmektedir. Çünkü NSF-WQI'in en büyük avantajı, elde edilen sonuçların indeksin sahip olduğu alt-indisler sayesinde,

Dünya'nın başka bir bölgesinde yapılan sonuçlarla daha kolay kıyaslanabilmesidir. Ancak hesaplamada istenilen parametrelerden bir ya da birkaçının eksik olması durumunda her bir parametreye ait ağırlık değeri yeniden düzenlenerek mevcut parametrelere dağıtılmalıdır.

Diğer yandan, Türkiye'de uygulanan su kalitesi mevzuatına uyumluluk bakımından CWQI'in seçilmesinin daha uygun olacağı belirlenmiştir. CWQI'ye bağlı olarak geliştirilen Kullanım Amacı Bazlı Su Kalitesi İndeksi'nde, II. sınıf su kullanımı için verilen limit değerleri kullanarak yapılan hesapların, akarsudaki durumu en iyi şekilde yansıttığı belirlenmiştir. CWQI, özel bir parametre setine tabi olmadığı için hesaplamalarda asgari olarak dört parametreye ait dörder ölçümle kalite sınıflandırması yapılabilmektedir. Bu indeksin en büyük dezavantajı, yapılan çalışmanın yalnızca yapıldığı bölgeye/ülkeye ait yasal limitler göz önüne alınarak kategorize edilmesidir. Örneğin aynı bölgede yapılan bir çalışma farklı yasal/teknik limitler göz önüne alınıp aynı parametreler kullanılarak yapılsa bile limit değerlerin farklı olmasından dolayı farklı sonuçlar elde edilecektir. Diğer bir yandan bu indeks, alt indislerden bağımsız olduğu için hesaplama açısından bağımsızdır.

CWQI'ye bağlı olarak geliştirilen Referans Nokta Bazlı Su Kalitesi İndeksi, bir akarsuda kirlilikten yalıtılmış olarak kabul edilen bir noktaya ait ortalama kalite değerlerinin referans kabul edilmesiyle hesaplanmaktadır. Memba ile mansap arasındaki kalite değişimini gösterdiği için, özellikle “kirlilik durumunun tespiti” çalışmalarında tercih edilebilecek bir yöntemdir.

OWQI, tıpkı NSF-WQI gibi alt indislere ve özel parametre setlerine bağımlı olarak hesaplanan bir indekstir. Ancak parametrelere bir önem sırası (ağırlık) verilmemiştir. İndeksin en büyük dezavantajı, toplam katı madde derişimi parametresi için Oregon Eyaleti'nde yer alan havzalara özel değerler geliştirmiştir. Dolayısıyla bu indeks Dünya'nın başka bir bölgesinde uygulamak için bu parametrenin dikkate alınmaması gerekmektedir. Eksik parametreler için ise yeniden ağırlıklandırma yapılmasına gerek yoktur.

Su kalitesi indekslerinin kullanılmasındaki temel amaçlar, eldeki veri kümesini anlamlı bir sayıya dönüştürmenin yanı sıra, makul sayıda parametre kullanarak, en az maliyetle ve gerçeğe en yakın kalite durumunu saptayabilmektedir. Tez çalışmasında

kullanılan NSF-WQI'in hesaplanması için temelde 9 parametre gerekirken, yapılan modifikasyonla 7 parametreyle hesaplama yapılması sağlanmıştır. OWQI'in hesaplanması için değişken durumlarda göz önüne alınarak 10 parametre kullanılması gerekirken, yapılan modifikasyonla 8 parametreyle hesaplama yapılması sağlanmıştır. CWQI'in en büyük avantajlarından birisi istenilen sayıda parametre kullanılmasına izin vermesidir. CWQI hesaplanmasında, en az dört parametreye bağlı dört ölçüm yani toplamda 16 verililik bir set yeterli olmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, CWQI uygulanması en ekonomik su kalitesi indeksidir. Karar vericilerin, öncelikle hangi parametreleri seçeceğine ve su kalitesi belirlenmek istenen su kaynağının kullanım amacına karar vermeleri gerekmektedir. Türkiye'de alıcı ortamın türüne (akarsu, toprak, göl, deniz vb.), su kaynağının konumuna (yerüstü, yeraltı vb.) ve suyun kullanım amacına (içme, kullanma, sulama vb.) göre yayımlanmış pek çok yasal düzenlemede aynı parametre için onlarca farklı limit değer yer almaktadır. Bunların dışında özellikle uluslararası kabul görmüş kurumların (DSÖ, USEPA, EEA vb.) yayımlandığı limit değerler bulunmaktadır. Karar vericilerin, su kalitesini belirlerken söz gelimi yaygın olarak sulama suyu temininde kullanılan bir akarsuda, içme suyu standartlarına göre limit değerler belirlemeleri, ulaşılmak istenen amaca hizmet etmeyecektir. Yani farklı amaçlar için geliştirilen mevzuat ya da düzenlemelerde yer alan limit değerleri kullanmak yanıltıcı olabilir.

Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde, Yerüstü Su Kütlelerinde Bazı Parametreler İçin Çevresel Kalite Standartları ve Kullanım Maksatları Tablosu altında, su kütlelerinin kalite durumları için dört farklı sınıf belirlenmiştir. Dünyada en çok kullanılan su kalitesi indekslerinde ise akarsuların su kalitesi durumları beş sınıf altında gruplandırılmaktadır. Dolayısıyla su kalitesine ilişkin mevzuatta ve diğer yasal düzenlemelerde kalite sınıfları beş kategori altında gruplandırılabilir. Bu sayede parametre bazlı sınıflandırmalar ile indeks temelli kalite sınıflandırmaları arasında daha kolay ilişki kurulabilir.

Bunun yanı sıra, Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde "Tablo 3: Genel Kimyasal ve Fizikokimyasal Parametreler Açısından Kıyı Suları Alıcı Ortam Kalite Kriterleri" tablosu altında Türkiye'de Ege, Akdeniz, Marmara ve Akdeniz kıyı suları için çözülmüş oksijen (mg/L), toplam fosfor ($\mu\text{g/L}$), NO_x ($\mu\text{g/L}$), yağ-gres (mg/L) ve yüzer madde parametreleri için alıcı ortam kalite kriterleri verilmiştir. Yapılacak çalışmalarla Türkiye'de bulunan ve alıcı ortam olarak kullanılan akarsularda havza ve/veya alt havza

bazlı alıcı ortam kalite kriterlerinin de belirlenmesi gereklidir. Referans nokta bazlı su kalitesi indeksi, bu amaçla kullanılabilecek bir indeks olarak geliştirilmiştir.

Sakarya Nehri üzerinde su kalitesini arttırmaya yönelik olarak yapılacak çalışmaların ilk olarak Yukarı Sakarya alt havzasında Porsuk Çayı ile Ankara Çayı'nın bağlandığı noktalarda planlanması gerekmektedir. Su kalitesinin artırılması için bu bölgede yer alan ve kentsel atıksu arıtma tesisi bulunmayan yerleşim yerlerinin atıksu arıtma tesislerinin kurulması ve işletilmesi gerekmektedir. Deşarj limitlerinin faaliyet türlerine göre değil, alıcı ortamın mevcut kalitesine göre belirlenmesi gerekmektedir. Bu bakış açısıyla, havzalardaki kirlilik yükleri kontrol edilebilir ve gerekli yatırımların ihtiyacın olduğu bölgelerde yapılması sağlanabilir.

Birden fazla kentsel atıksu arıtma tesisi için alıcı ortam olarak kullanılan akarsularda, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde ve Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği'nde verilen sınır değerlerden farklı olarak "kümülatif" bir değerlendirme yapılmalıdır. Akarsuyun mesafeye bağlı olarak taşıdığı kirlilik yükünün mansaba ulaşmaya kadar izlenerek baskı noktalarının alıcı ortam su kalitesini en az etkileyecek şekilde kısıtlanması gerekmektedir. Ayrıca, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na 5000 m³/gün ve üzerinde atıksu debisine sahip atıksu arıtma tesislerine getirilen Sürekli Atıksu İzleme Sistemi kurma yükümlülüğünün kademeli olarak yaygınlaştırılması, bu çalışmada olduğu gibi kirliliğin yoğun gözlemlendiği alıcı ortamlara (Ankara Çayı vb.) arıtılmış atıksu deşarjı yapan tüm tesisler için zorunlu hale getirilmesi önerilmektedir.

Burak Baltaoğlu (1990) tarafından Ankara Çayı'nın Sakarya Nehri'ne bağlantı noktasından itibaren nehrin su kalitesinin kötüleştiği ve Ankara'nın kirlilik yükünü taşıyan bu akarsu için en kısa sürede gerekli önlemlerin alınması gerektiği bildirilmiştir.

Gelecekte Kızılırmak ve Sakarya Havzalarında bulunan tatlı su kaynaklarında %30-50 oranlarına varan azalmalar beklenmekte olup havza bazlı olarak su yönetimi tedbirleri belirlenerek uygulamaya geçirilmelidir. Mevcut olan yerüstü ve yeraltı su kaynaklarının potansiyellerini ve kalite durumlarını doğru belirleyerek kaynak türlerini çeşitlendirmek, ileride oluşması beklenen su kıtlığını engeleyebilir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2021). Yüksek kalite sınıfında olan suların, kullanım sınıfında belirlenen amaçlar dışında kullanılmaması; endüstriyel su temininde mümkünse tesis içi arıtma sistemleri kurularak daha düşük kaliteli suların tercih edilmesi gereklidir.

Havzanın mevcut potansiyelini korumak ve su kalitesinde sürdürülebilirliği sağlamak için birbiriyle mutlak ilişkili olan yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının envanterlerinin hazırlanarak izleme çalışmalarına devam edilmesi, özellikle yeraltı suyunun kontrollü kullanımının etkin denetim yöntemleriyle sağlanması, arıtılmış atıksuların çeşitli uygun amaçlarla yeniden kullanılmasının teşvik edilmesi ve tarımsal amaçlı su kullanımının azaltılması çalışmaları yapılmalıdır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2021; Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010; Bursa Bilecik Eskişehir Kalkınma Ajansı, 2015).

Bu çalışmanın özellikle akarsu havzalarında ve alt havzalarında, spesifik kirleticilere ait parametreler kullanılarak Türkiye'ye özel bir su kalitesi indeksi üretilmesi sürecine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Özellikle Kanada Su Kalitesi İndeksi temel alınarak geliştirilen referans nokta bazlı su kalitesi indeksi ile kullanım amacı bazlı su kalitesi indekslerinin, Türkiye'de bulunan akarsu havzalarına ve/veya alt havzalarına özel olarak belirlenmiş limit değerler göz önüne alınarak kullanılmasında en pratik ve gerçeğe en yakın su kalitesi durumlarının belirleneceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Abay, O. (2008). Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi'nde nehir havza yönetiminin önemi. *5. Dünya Su Forumu Bölgesel Hazırlık Süreci Türkiye Bölgesel Su Toplantıları'nda sunulan bildiri*. İzmir: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü II. Bölge Müdürlüğü.
- Abbasi, T. ve Abbasi, S. (2012). *Water Quality Indices*. Amsterdam: Elsevier,.
- Adalena, S., Heaven, M., Dresel, P., Giri, K., MarkHolmberg Croatto, G. and Webb, J. (2020). Controls On Species Distribution And Biogeochemical Cycling İn Nitrate-Contaminated Groundwater And Surface Water, Southeastern Australia. *Science Of The Total Environment* 726.
- Ağaoğlu, S., Alişarlı, M., Alemdar, S. ve Dede, S. (2007). Van bölgesi içme ve kullanma sularında nitrat ve nitrit düzeylerinin araştırılması. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 17-24.
- Akar, S. (2009). *İzmir İç Körfezi'nde, kıyı sularında ve kara midyelerde (Mytilus galloprovincialis Lamarck, 1819) fekal koliform bakterilerin izlenmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akkoyunlu, A. ve Akıner, M. (2012). Pollution evaluation in streams using water quality indices: A case study from Turkey's Sapanca Lake Basin. *Ecological Indicators* 18, 501–511.
- Akyüz, H. (2016). *İşletmede olan bir hidro elektrik santralin nehir suyu kalitesine etkisi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Alexakis, D., Tsihrintzis, V., Tsakiris, G. and Gikas, G. (2016). Suitability of water quality indices for application in lakes in the Mediterranean. *Water Resour Manage* 30, 1621–1633.
- Anonim. (2005). Mikroorganizma Analiz Yöntemleri. *Merck Gıda Mikrobiyolojisi Uygulamaları*. (A. K. Halkman, Dü.) Ankara: Başak Matbaacılık.

- Asadollahfardi, G. (2015). *Water Quality Indices*, . Springer Water Quality Management Assessment and Interpretation.
- Atalık, A. (2007). Su sorunu ve tarımda sulama suyu kullanımı. *TMMOB Ziraat Müh. Odası Tarım ve Mühendislik Dergisi*(81).
- Avrupa Çevre Ajansı. (2018). *Su Hayattır*. Luxemburg: Rosendahls, AB Yayın Ofisi,.
- Barlas, M. ve Kiriş, E. (2004). *Akçay (Muğla-Denizli)'in fiziko-kimyasal ve bentik makroinvertebrata yönünden incelenmesi*. Muğla: Muğla Üniversitesi Yayınları.
- Bhutiani, R., Khanna, D., BhaskarKulkarni, D. and Ruhela, M. (2013). Assessment of Ganga river ecosystem at Haridwar, Uttarakhand, India with reference to water quality indices. *Appl Water Sci* 6, 107–113.
- Bilgin, A. (2018). Water Quality Index and Applications. *Journal of Current Researches on Engineering, Science and Technology*, 4 (2), 161-170.
- Bilgin, M. (2003). *Niğde ili içme sularının fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik olarak incelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Niğde: Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Boyacıoğlu, H. (2007). Development of a water quality index based on a European classification scheme. *Water SA* 33, 101–106.
- Brenner, D., Krieg, N. and Staley, J. (2005). *Bergey's Of Manuel Of Systematic Bacteriology*.
- Brown, M., McClelland, N., Deininger, R. and Tozer, R. (1970). A water quality index-do we dare. *Water & Sewage Works*, 117, 339-343.
- Burak Baltaoğlu, S. (1990). *Sakarya Nehri Havzasında Su Kalitesi Yönetimi*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bursa Bilecik Eskişehir Kalkınma Ajansı BEBKA. (2015). *Bursa Eskişehir Bilecik Bölge Planı 2014-2023*. Bursa: Bursa Bilecik Eskişehir Kalkınma Ajansı.

- Büyükerşen, Y. ve Efelerli, S. (2006). Porsuk Havzası Su Yönetimi ve Eskişehir Örneği. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Su Politikaları Kongresi bildirisi*. Ankara: TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası.
- Calow, P. and Petts, G. (1992). *The Rivers Handbook. Hydrological and Ecological Principles*. Blackwell Science.
- Canbek, M., Demir, T., Uyanoglu, M., Bayramoglu, G., Emiroglu, Ö. ve Arslan, N. (2007). Preliminary assessment of heavy metals in water and some Cyprinidae species from the Porsuk River, Turkey. *Journal of Applied Biological Sciences*, 89–93.
- Chapman, D. (1992). *Water quality assessment*. London: Chapman & Hall.
- Cude, G. (2001). Oregon Water Quality Index: A Tool For Evaluating Water Quality Management Effectiveness. *Journal Of The American Water Resources Association*, 125-137.
- Çalımlı, M. (2002). *Yukarı Sakarya Nehri'nde fosfor fraksiyonları ile klorofil-a konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çelik, N. ve Pülatsu, S. (2003). Yukarı Sakarya Nehri'nde azot fraksiyonları ile toplam demir ve silikat konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 400-414.
- Çevre ve Orman Bakanlığı. (2005). *Atıksu Arıtımının Esasları*. Ankara: Çevre ve Orman Bakanlığı.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2019). *Deniz Kalitesi Bülteni Karadeniz*. Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2021). *Bölgesel İklim Değişikliği Eylem Planları*. Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Çiftçi, M. (2015). *Seydisuyu (Eskişehir) Havzasında Su ve Sediment Kalitesinin Belirlenmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Çoban, F. (2007). *Hazar Gölü su kalitesinin araştırılması. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. Elazığ: Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Demirer, M. (1992). *Su Hijyeni*. Ankara: Ankara Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Besin Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı.
- Dunnette, D. (1980). *Oregon Water Quality Index Staff Manual*. Portland, Oregon: Oregon Department of Environmental Quality.
- Effendi, H., Romanto and Wardiatno, Y. (2015). Water quality status of Ciambulawung River, Banten Province, based on pollution index and NSF-WQI. *Procedia Environmental Sciences* 24, 228 – 237.
- Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü. (2019). *Çevresel Performans İncelemeleri Türkiye 2019*. Ankara: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Eren, H. (2006). *Bütünüyle katı-hal pvc membran ve kompozit NO₃- seçici potansiyometrik sensörler ve uygulamaları. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. Samsun: Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ewaid, S. (2017). Water quality evaluation of Al-Gharraf river by two water quality indices. *Appl Water Sci* 7, 3759–3765.
- Fatoki, O. and Awofolu, R. (2003). Levels of Cd, Hg and Zn in some surface waters from the Eastern Cape Province, South Africa. *Water SA*, 375-380.
- Gautier, C. (2014). *Petrol, Su ve İklim*. Ankara: Tübitak Popüler Bilim Kitapları.
- Genç, S. (2006). *Taze tüketime sunulan bazı balık türlerinde Listeria monocytogenes, Vibrio parahymoliticus, toplam mezofil bakteri ve fekal koliform bakteri sayılarının belirlenmesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Güler, Ç. (1997). *Su Kalitesi*. Sağlık Bakanlığı Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi.
- Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z. (1997). *Kimyasallar ve Çevre*. Sağlık Bakanlığı Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi.
- Gültekin, F., Ersoy, A., Hatipoğlu, E. ve Celep, S. (2011). Trabzon ili akarsularının yağışlı dönem su kalitesi parametrelerinin belirlenmesi. *Ekoloji* 21, 77-88.

- Güneş, G. (2019). Bartın Nehri'nin Fizikokimyasal Özelliklerinin Yağışlı ve Kurak Dönemlerdeki Değişimi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 21(63), 761-774.
- Hepsağ, E. (2003). *Köyceğiz-Dalyan lagün havzası su kaynaklarının su kalitesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Horton, R. K. (1965). An index number system for rating water quality. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 37 (3), 300-306.
- Ichwana, I., Syahrul, S. and Nelly, W. (2016). Water quality index by using National Sanitation Foundation-water quality index (NSF-WQI) method at Krueng Tamiang Aceh. *International Conference on Technology Innovation and Society*.
- İkinci, M. (2016). *Sapanca Gölü ve gölü besleyen derelerde su kalitesinin değerlendirilmesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. Sakarya: Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kachroud, M., Trolard, F., Mohammed, K., Jebari, S. and Bourrié, G. (2019). Water Quality Indices: Challenges and Application Limits in the Literature. *Water* 11, 361.
- Kaçan, M. (2020). *Fethiye Körfezinde Su Kalitesi İndeksleri İle Değerlendirmenin Karşılaştırılması. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. Ankara: Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kadak, A. ve Aras, S. (2017). Su sıcaklığının diğer su özelliklerine olan etkileri. *Menba Su Ürünleri Fakültesi Dergisi* 3, 30-35.
- Katip, A., Karaer, F., İleri, S. ve Onur, S. (2013). Akçalar Deresi Azot ve Fosfor Yükleri ve Ulubat Gölü'ne Etkisi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 18.
- Kırmızı, M. (2010). *Akışkan Yataklı Kum Filtreleri ile Yüzeysel Suların Arıtımında Optimum Şartların Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi*. Kocaeli: Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Koca, G. (2013). *Çukurova koşullarında ekim öncesi topraktaki mineral azotun birinci ürün mısır gübreleme programında kullanım potansiyeli. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. Adana: Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Koyuncu, İ. (2018). *Membran Teknolojileri ve Su Arıtma Cilt 1*. Ankara: Türkiye Çevre Koruma Vakfı.
- Köse, E., Çiçek, A., Emiroğlu, Ö., Tokatlı, C., Uğurluoğlu, A., Başkurt, S. ve Uylaş, M. (2016). Porsuk Çayı Havzası Su Kalitesinin Değerlendirilmesi. *Biological Diversity and Conservation*, 119-126.
- Köse, E., Çiçek, A., Uysal, K., Tokatlı, C., Emiroğlu, Ö. and Arslan, N. (2015). Heavy Metal Accumulations in Water, Sediment and Some Cyprinid Species in Porsuk Stream (Turkey). *Water Environment Research Vol 87*.
- Köse, E., Tokatlı, C. ve Çiçek, A. (2014). Monitoring stream water quality: A statistical evaluation. *Pol. J. Environ. Stud. Vol. 23*, 1637-1647.
- Kumar, D. and Alappat, B. (2009). NSF-water quality index: does it represent the experts' opinion. *Pract. Period. Hazard. Toxic Radioact. Waste Manage., Vol. 13*, 75-79.
- Kumar, S. and Pandey, G. (2016). *Water Quality Index for Water Bodies: A Review, International Journal for Scientific Research & Development* (Cilt Vol. 4, Issue 02).
- Kumbur, H. (1981). *Ankara Çayında Mevcut Deterjanlar, Deterjanların Parçalama Durumları ve Metallerin Kantitatif Analizi. Yayınlanmamış Doktora Tezi*. Ankara: Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kükrer, S. and Mutlu, E. (2019). Assessment of surface water quality using water quality index and multivariate statistical analyses in Saraydüzü Dam Lake, Turkey. *Environ Monit Assess 191:71*.
- Misaghi, F., Delgosha, F., Razzaghamanesh, M. and Myers, M. (2017). Introducing a water quality index for assessing water for irrigation purposes: A case study of the Ghezel Ozan River. *Science of The Total Environment, Volume 589*, 107-116.
- Muluk, Ç. K. (2013). *Türkiye'de suyun durumu ve su yönetiminde yeni yaklaşımlar: çevresel perspektif*. Sürdürülebilir Kalkınma Derneği – Doğa Koruma Merkezi.

- Munsuz, N. ve Ünver, İ. (1995). *Su Kalitesi*. Ankara: Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Musliu, M., Bilalli, A., Ismaili, M. and Ibrahimi, H. (2018). Water quality assessment of the Morava E Binçës River based on the physicochemical parameters and water quality index. *Journal of Ecological Engineering*. Volume 19, 104-112.
- Mutlu, E., Yanık, T. ve Demir, T. (2013). Karagöl'ün (Hafik-Sivas) su kalitesinin incelenmesi. *Alinteri Ziraat Bilimler Dergisi*. 24 (B).
- Mutlu, T., Vercep, B., Onay, D. ve Kırlioğlu, K. (2017). Güneydoğu Karadeniz Rize Kıyılarına Dökülen Bazı Akarsuların Fiziko-Kimyasal Su Kalitesi. *Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi*, 2(3) 67-71.
- Nalado, A., Kamarudin, M., Wahab, N., Rosli, M. and Saudi, A. (2017). Assessment of individual water quality index parameter in Terengganu River, Malaysia. *J. Fundam. Appl. Sci.*, 9-2S, 430-442.
- Nas, B. (2018). *Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı*. Konya: Selçuk Üniversitesi Basım Evi.
- Neary, B., Cash, K., Hebert, S., Khan, H. and Saffran, K. (2001). *CCME Water Quality Index 1.0 Technical Report*. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life.
- Odum, E. P. and Barret, G. W. (2008). *Ekolojinin Temel İlkeleri*. Ankara: Palme Yayıncılık.
- Ölmez, M. ve Saraç, D. (2009). Su ürünleri için pH'nın önemi. *Ziraat Mühendisliği Dergisi*, 353.
- Özer, Ç. ve Köklü, R. (2019). Aşağı Sakarya Nehri Su Kalitesinin Sulama Suyu Açısından Değerlendirilmesi. *Doğal Afet Çevre Dergisi*, 5-2, 237-246.
- Paul, E. (2007). *The Ecology Of Soil Organisms In Soil Microbiology, Ecology And Biochemistry*. Elsevier.
- Sahoo, M. and Patra, K. (2018). Development of a Functional Water Quality Index: a case study in Brahmani River Basin, India. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16-1.

- Said, A., Stevens, D. K. and Sehlike, G. (2004). An Innovative Index for Evaluating Water Quality in Streams. *Environmental Management Vol. 34, No. 3*, 406–414.
- Samantray, P., Mishra, B., Panda, C. and Rout, S. (2009). Assessment of Water Quality Index in Mahanadi and Atharabanki Rivers and Taldanda Canal in Paradip Area, India. *J Hum Ecol* 26(3), 153-161.
- Samsunlu, A. (2005). *Çevre Mühendisliği Kimyası*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Sargaonkar, A. and Deshpande, V. (2003). Development o an overall index of pollution for surfacewater based on a general classification scheme in Indian context. *Environ Monit Assess* 89, 43–67.
- Sarıdoğan, Ü. (2019). *Musaözü Baraj Göleti'nin (Eskişehir) su kalite indeksine göre değerlendirilmesi. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. Eskişehir: Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Selki, K. (2008). Sakarya Havzası'na genel bakış. 5. *Dünya Su Forumu Bölgesel Hazırlık Süreci Türkiye Bölgesel Su Toplantıları Havza Kirliliği Konferansında sunulmuş bildiri*. İzmir: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 2. Bölge Müdürlüğü.
- Serdar, S. (2015). *Doğu Karadeniz havzası akarsularının fizikokimyasal su kalitesi mevsimsel değişimlerinin belirlenmesi. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. Rize: Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Shah, K. and Joshi, G. (2017). Evaluation of water quality index for River Sabarmati, Gujarat, India. *Appl Water Sci* 7, 1349–1358.
- Sharma, P., Meher, P., Kumar, A., Gautam, Y. and Mishra, K. (2014). Changes in water quality index of Ganges river at different locations in Allahabad. *Sustainability of Water Quality and Ecology Vol. 3-4*, 67-76.
- Shmeis, R. (2008). *Water chemistry and microbiology. Comprehensive Analytical Chemistry, Volume 81*.
- Solak, M. (2007). *Elektrokoagülasyon Prosesi ile Mermer Atıksularının Arıtılması. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. Isparta: Süleyman Demirel U'niversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Sutadian, A. D., Muttill, N., Yilmaz, A. G. and Pereraa, B. J. (2016). Development of river water quality indices—a review. *Environ Monit Assess*, 188: 58.
- Sutadian, A., Nitin, M., Yilmaz, A. and Pereraa, B. (2018). Development of a water quality index for river basin West Java Province, Indonesia. *Ecological Indicators*, 85, 966–982.
- Sümer, B., İleri, R., Şamandar, A. ve Şengörür, B. (2001). Büyük Melen ve kollarındaki su kalitesi. *Ekoloji Çevre Dergisi*, 10(39), 13-18.
- Şahin, M. (2018). *Porsuk Çayı'nın su kalite indekslerine göre değerlendirilmesi ve baraj gölü trofik seviyesinin belirlenmesi. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Şener, Ş., Şener, E. and Davraz, A. (2017). Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). *Science of the Total Environment*, 584–585, 31–144.
- Şengül, F. ve Müezzinoğlu, A. (1993). *Çevre Kimyası. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları.*
- Şimşek, H. (2011). *Sazlıdere Baraj Gölü'nün mikrobiyolojik ve kimyasal kirlilik düzeyinin belirlenmesi. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Taner, M. Ü. (2007). *Development of water quality index as a sustainability indicator in Küçükçekmece watershed, İstanbul. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2019). *Kullanılmış Suların Yeniden Kullanım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi Projesi Sakarya Havzası Ön Fizibilite Raporu Ve Taslak Eylem Planı. Ankara: Su Yönetimi Genel Müdürlüğü .*
- Terrado, M., Borrell, E., Campos, S., Barcelo, D. and Tauler, R. (2010). Surface-water-quality indices for the analysis of data generated by automated sampling networks. *Trends in Analytical Chemistry Vol 29.*

- Thukral, A., Bhardwaj, R. and Kaur, R. (2005). *Water Quality Indices Statistical Accounting of Water Resources*. India New Delhi: Ministry of Statistics and Programme Implementation.
- Titiz, A. (2020). *Su kalitesi indeksi ve bazı çoklu istatistiki teknikler kullanılarak İpsala ilçesi içme suyu kalitesinin değerlendirilmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Edirne: Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tunç Dede, Ö. ve Sezer, M. (2017). Aksu Çayı su kalitesinin belirlenmesinde Kanada su kalitesi indeks (CWQI) modelinin uygulanması. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32:3 (2017) , 909-917.
- Tunç Dede, Ö., Telci, İ. and Aral, M. (2013). The use of water quality index models for the evaluation of surface water quality: a case study for Kirmir basin. *Water Qual Expo Health*, 5:41–56.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2005). TS 266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular. *Türk Standardı*. Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2014). TS EN ISO 9308-2 / Ekim 2014 Su Kalitesi - Escherichia Coli ve Koliform Bakterilerin Sayımı - Bölüm 2 : En Muhtemel Sayı Yöntemi. *Türk Standardı*. Ankara.
- Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu. (2013). *Havza koruma eylem planlarının hazırlanması projesi Sakarya Havzası 5118601 proje nihai raporu*. Kocaeli: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu.
- Türkyılmaz, A. (2010). *Dünyada ve Ülkemizde Su*. Ankara: Türkiye Belediyeler Birliği.
- Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P. and Dobhal, R. (2013). Water quality assessment in terms of water quality index. *American Journal of Water Resources*, 34-38.
- Ustaoglu, F., Tepe, Y. and 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.
- Üstüner, H. (2012). *Gediz Nehri bazı parametrelerinin zamansal ve mekânsal değişimi*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. İzmir: Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Vesilind, P., Morgan, S. and Heine, L. (2014). *Çevre Mühendisliğine Giriş*. Ankara: Nobel.
- Wepener, V., Euler, N., van Vuren, J., du Preez, H. and Kohler, A. (1992). The development of an aquatic toxicity index as a tool in the operational management of water quality in the Olifants River (Kruger National Park). *Koedoe* 35, 1–9.
- Wills, M. and Irvine, K. (1996). Application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index in the Cazenovia Creek, NY, Pilot Watershed Management Project. *Middle States Geographer* 96, 95-104.
- Yaman Büyükbüberoğlu, F. (2016). *Sakarya Nehri su kalitesinin mevsimsel karakterizasyonu ve mikrokirleticilerin ileri arıtım yöntemleriyle giderilmesi. Yayınlanmamış Doktora Tezi*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yaykırın, S. (2016). *Sakarya Havzası'nın Yüksek Çözünürlüklü Hidrolojik Modelinin Yapılandırılması, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, B. (2015). *Akarçay havzasında çözünmüş oksijen değerlerinin yapay sinir ağları ile belirlenmesi. Yayınlanmamış uzmanlık tezi*. Ankara: Orman ve Su İşleri Bakanlığı.
- Yılmaz, G. (1999). *Büyük Melen Nehrinin kirlilik durumunun araştırılması. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. Sakarya: Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yücel, E., Doğan, F. ve Öztürk, M. (1995). Porsuk Çayı'nda Ağır Metal Kirlilik Düzeyleri ve Halk Sağlığı İlişkisi. *Ekoloji Dergisi* 17.
- Yürekli, A. (2019). Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, 1-12.
- http-01:
<https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/gbakan/133016/BO%C4%B0%20SUNUSU.pdf>
(Erişim tarihi: 02.11.2020)

http-02: <http://umich.edu/~lehnert/Ncycle.html>

(Düzenlenerek Erişim tarihi: 03.11.2020)

http-03: <https://cevre.erciyes.edu.tr/upload/KLMJMW86-fosfor-2013.pdf>

(Erişim tarihi: 04.11.2020)

http-04: <https://www.water-research.net/index.php/water-treatment/water-monitoring/monitoring-the-quality-of-surfacewaters>

(Erişim tarihi: 16.01.2021)

http-05: <https://water-research.net/index.php/stream-water-quality-importance-of-temperature> (Erişim tarihi: 07.12.2020)

http-06: <http://www.sakarya.gov.tr/sakarya-nehri>

(Erişim tarihi: 30.11.2020)

http-07: https://cevre.erciyes.edu.tr/upload/UKPJ2EYCM208_lab-kitapcigi.pdf

(Erişim tarihi: 30.10.2019)

http-08: <https://corine.tarimorman.gov.tr/corineportal/nedir.html>

(Erişim tarihi: 04.12.2020).

http-09: <http://power.larc.nasa.gov/>

(Erişim tarihi: 06.12.2020)

http-10: <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Sayfalar/Detay.aspx?SayfaId=56>

(Erişim tarihi: 11.11.2020)

http-11: <https://tr.hach.com/lck>

(Erişim tarihi: 03.05.2019)

EKLER

EK-1

KULLANIM AMACI BAZLI SU KALİTESİ İNDEKSİ İÇİN LİMİT DEĞERLER

Kullanım Amacı Bazlı Su Kalitesi İndeksi tayininde, seçilen parametrelerin sınır değerlerinin belirlenmesinde 30.11.2012 tarihli ve 28483 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği’nin “EK-5 Yerüstü Su Kütlelerinde Bazı Parametreler İçin Çevresel Kalite Standartları ve Kullanım Maksatları” tablosu ve 31.12.2004 tarihli ve 25687 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’nin “Tablo 1: Kıta içi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri” tablosu birlikte kullanılmıştır. Eksik parametreler için çapraz başvuru yapılarak I. ve II. sınıf su kalitesi için limit değerler belirlenmiştir.

Parametreler	Birim	1. Sınıf Su Kalitesi*	2. Sınıf Su Kalitesi**
		İçin Sınır Değerler	İçin Sınır Değerler
Sıcaklık	°C	25	25
Çözülmüş Oksijen	mg/L	8	6
Oksijen Doygunluğu	%	90	70
pH		6,5-8,5	6,5-8,5
Elektriksel İletkenlik	µs/cm	400	1000
Bulanıklık	NTU		
Sülfat	mg SO ₄ /L	200	200
Amonyum azotu	mg NH ₄ ⁺ .N/L	0,2	1
Nitrit azotu	mg NO ₂ ⁻ .N/L	0,002	0,01
Nitrat azotu	mg NO ₃ ⁻ .N/L	5	10
Toplam fosfor	mg P/L	0,02	0,16
KOI	mg/L	25	50
BOİ	mg/L	4	8
Fekal Koliform	EMS/100 mL	10	200

* 1. Sınıf Suların Kullanım Amaçları: Bu sular yüksek kaliteli sular olarak sınıflandırılırlar. İçme suyu olarak kullanılma potansiyeli yüksek olan yüzeysel sular, vücut teması gerektiren (yüzme vb.) rekreasyonel amaçlar için kullanılan sular, alabalık üretiminde kullanılabilen sular ve hayvan üretim/çiftlik faaliyetlerinde kullanılabilen sular bu sınıftadır.

** 2. Sınıf Suların Kullanım Amaçları: Bu sular az kirlenmiş sular olarak sınıflandırılırlar. İçme suyu olarak kullanılabilmek ihtimali olan yüzeysel sular, yüzme hariç diğer rekreasyonel amaçlarla kullanılabilecek sular, alabalık dışındaki balıkların üretiminde kullanılabilecek sular ve ilgili mevzuatta tespit edilen sulama suyu limit değerlerini sağlamak koşuluyla sulama suyu olarak kullanılabilen sular bu sınıftadır.

EK-2

	Tez Çalışması (2021) 2018-2019					Yaman Büyükbüberoğlu (2016) 2015-2017				
Parametreler	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz	Ort.	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz	Ort.
Sıcaklık (°C)	18,1	19,1	19	21,3	19,38	12,8	8,65	14,4	21	14,21
Çözünmüş Oksijen (mg/L)	7,47	7,68	7,29	7,13	7,39	8	8,22	7,2	7	7,61
pH	7,64	7,49	7,55	7,28	7,49	7,93	7,61	7,83	7,84	7,80
Elektriksel İletkenlik (µs/cm)	761,5	781,2	774,8	808,8	781,58	748	795	795	828	791,50
Sülfat (mg SO ₄ /L)	136	133	131	114	128,50	130	120	187	118	138,75
Nitrat Azotu (mg NO ₃ ⁻ -N/L)	1,12	2,44	2,33	1,93	1,96	1,5	1,45	0,32	0,15	0,86
KOI (mg/L)	3,09	0,291	0,445	2,63	1,61	12	10	14	11	11,75
BOİ (mg/L)	0,4	0,82	3,31	3,57	2,03	4	2	4	4	3,50
Fekal Koliform (EMS/10 mL)	19	9	93	1100	305,25	300	200	400	1800	675,00

Sakarya Havzası'nda Yaman Büyükbüberoğlu (2016) tarafından yapılan çalışmada, beş farklı istasyondan dört mevsim süresince (Mart, Ağustos ve Kasım 2015 ile Şubat 2016) numuneler alınarak askıda katı madde, BOİ, KOİ, TOK, bulanıklık, iletkenlik, pH, çözünmüş oksijen, alkalinite, sertlik, ağır metaller, fekal ve toplam koliform ile diğer bazı parametreler ölçülerek bu kirleticilerin artırım yöntemleri araştırılmıştır. Belirlenen beş istasyondan ilki Çifteler ilçesinde bulunan ve Yukarı Sakarya Nehri'nin de membaı olan Sakaryabaşı mevkiindedir. Bu istasyonda yapılan çalışmalarda; elde edilen sonuçlar Çizelge'de yer almaktadır. Buna göre, Yaman Büyükbüberoğlu (2016) tarafından 2015-2016 yılları arasında yapılan çalışma ile bu tez kapsamında 2018-2019 yılları arasında aynı istasyonda yapılan çalışmalarda elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Buna göre, yıllık ortalama değerlerin sıcaklık, çözünmüş oksijen, pH, iletkenlik, sülfat ve BOİ parametrelerinde her iki çalışmada da çok yakın değerlerde saptandığı; nitrat, KOİ ve fekal koliform parametrelerinde ise büyük farklılıklar olduğu anlaşılmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mesut ÇİFTÇİ

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi :

- 2012, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Lisans.
- 2012, Çevre Mühendisi, Bilecik Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü
- 2015, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans.
- 2018, Çevre Yük. Mühendisi, Eskişehir Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü
- 2019, Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi, Fotoğrafçılık ve Kameramanlık Bölümü