

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**DÜDEN ÇAYI SU KALİTESİNİN FARKLI SU KALİTE
İNDEKSLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yeliz YAĞAR

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2023

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**DÜDEN ÇAYI SU KALİTESİNİN FARKLI SU KALİTE
İNDEKSLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yeliz YAĞAR

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

TEMMUZ 2023

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜDEN ÇAYI SU KALİTESİNİN FARKLI SU KALİTE
İNDEKSLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

Yeliz YAĞAR

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 21/07/2023. tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Firdes YENİLMEZ

Prof. Dr. Muhammet Yunus PAMUKOĞLU

Doç. Dr. Ayça ERDEM ÜNŞAR

ÖZET

DÜDEN ÇAYI SU KALİTESİNİN FARKLI SU KALİTE İNDEKSLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

Yeliz YAĞAR

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Firdes YENİLMEZ

Temmuz 2023; 103 sayfa

Antalya Havzası'nda yer alan Düden Çayı, önemli yerüstü su kaynaklarından biridir. Düden Çayı'nın su kalitesi, Erdem (2002) tarafından Ocak 2001 - Şubat 2002 arasında Düden Çayı üzerindeki 4 istasyondan ve ASAT tarafından Ocak 2021 - Şubat 2022 arasında Düden Çayı üzerindeki 4 istasyondan yapılan çalışmalarla izlenmiştir. Bu çalışma kapsamında, öncelikle Erdem ve ASAT tarafından yapılan çalışmalardan elde edilen su kalite verileri kullanılarak Düden Çayı'nın genel su kalite durumu belirlenmiştir. Bununla birlikte Düden Çayı'nın su kalitesi, en yaygın kullanılan su kalite indeks modelleri aracılığıyla değerlendirilmiştir. Çalışmada Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi Su Kalite İndeksi (CCME-SKİ), Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi (NSF- SKİ), British Columbia Su Kalite İndeksi (BC-SKİ) ve Oregon Su Kalite İndeksi (O-SKİ) modelleri uygulanmış ve indeks sonuçları, Düden Çayı su kalitesini sınıflandırmada en uygun indeks modelini belirlemek amacıyla karşılaştırılmıştır. İndeks modellerinin hesaplanmasında Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ve Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde yer alan sınır değerler baz alınmıştır. SKİ modellerinin hesaplanmasında Çözünmüş Oksijen, pH, Kimyasal Oksijen İhtiyacı, Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, Toplam Fosfor, Nitrat Azotu, Amonyum Azotu, Sıcaklık, *Fecal coliform*, Toplam Çözünmüş Madde, Toplam Katı Madde, Sülfat, Klorür, Demir, Alüminyum ve Manganez parametreleri kullanılmıştır. SKİ modellerinden elde edilen sonuçlara göre Düden Çayı su kalitesinin genellikle kötü sınıfta olduğu belirlenmiştir. Düden Çayı alt havzasında, noktasal ve yayılı kirletici kaynaklar nedeniyle su kalitesinin baskı altında olduğu tespit edilmiştir. İyi su durumuna ulaşılması için kirletici potansiyeli olan noktalarda acil önlemlerin alınması gerektiği ve su kalitesi izleme çalışmalarına devam edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, kullanılan indeks modellerinden CCME-SKİ'nin Düden Çayı'nın su kalitesinin değerlendirilmesinde daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Düden Çayı, Su kalite indeksi, British Columbia su kalite indeksi, Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi su kalite indeksi, Oregon su kalite indeksi, Ulusal Sanitasyon Vakfı su kalite indeksi

JÜRİ: Doç. Dr. Firdes YENİLMEZ

Prof. Dr. Muhammet Yunus PAMUKOĞLU

Doç. Dr. Ayça ERDEM ÜNŞAR



ABSTRACT

EVALUATION OF WATER QUALITY IN DÜDEN STREAM ACCORDING TO DIFFERENT WATER QUALITY INDICES

Yeliz YAĞAR

MSc Thesis in Environmental Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Firdes YENİLMEZ

July 2023; 103 pages

Düden Stream, located in the Antalya Basin, is one of the important surface water resources. The water quality of Düden Stream was monitored by Erdem (2002) from 4 stations on Düden Stream between January 2001 and February 2002 and by ASAT from 4 stations on Düden Stream between January 2021 and February 2022. Within the scope of this study, firstly, the general water quality status of Düden Stream was determined by using the water quality data obtained from the studies conducted by Erdem (2002) and ASAT. In addition, the water quality of Düden Stream was evaluated using the most widely used water quality index models. In this study, the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME-WQI), National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSF-WQI), British Columbia Water Quality Index (BC-WQI) and Oregon Water Quality Index (O-WQI) models were applied and the index results were compared to determine the most appropriate index model for classifying water quality in Düden Stream. The calculation of the index models was based on the limit values in the Water Pollution Control Regulation (WPCR) and Surface Water Quality Regulation (SWQR). Dissolved Oxygen, pH, Chemical Oxygen Demand, Biochemical Oxygen Demand, Total Phosphorus, Nitrate Nitrogen, Ammonium Nitrogen, Temperature, *Fecal coliform*, Total Dissolved Matter, Total Solids, Sulphate, Chloride, Iron, Aluminum and Manganese parameters were used in the calculation of WQI models. According to the results obtained from the Water Quality Index models, it was determined that the water quality of Düden Stream is generally poor. It was identified that water quality in the Düden Stream sub-basin is under pressure due to point and diffuse pollution sources. It is concluded that urgent measures should be taken at the points with pollution potential to achieve good water status and monitoring studies should be continued. According to the results obtained from this study, it was concluded that CCME-WQI, one of the index models used, is more suitable for the assessment of water quality in Düden Stream.

KEYWORDS: Düden Stream, Water quality index, British Columbia water quality index, Canadian Council of Ministers of the Environment water quality index, Oregon water quality index, National Sanitation Foundation water quality index

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Firdes YENİLMEZ

Prof. Dr. Muhammet Yunus PAMUKOĞLU

Assoc. Prof. Dr. Ayça ERDEM ÜNŞAR



ÖNSÖZ

Anlayışıyla, güven vericiliğiyle tez çalışmamı sağlıklı bir şekilde yürütmemi sağlayan, değerli bilgilerini, deneyimlerini ve zamanını daima benimle paylaşan, her yaşadığım zorlukta beni düzlüğe sabırla çıkaran, sorunlarıma çözüm üreten, yardımsever, güler yüzlü, ince fikirli kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Firdes YENİLMEZ'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam kapsamında 2001-2002 su kalite indeks hesaplamalarında yüksek lisans tez çalışmasının verilerini kullanmama izin veren değerli hocam Doç. Dr. Ayça ERDEM ÜNŞAR'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamda kullandığım 2021-2022 verilerini temin ettiğim ASAT (Antalya Su ve Atıksu İdaresi Genel Müdürlüğü'ne) ve ASAT Laboratuvar Şube Müdürü Sayın Adil Doğan'a teşekkür ederim.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca her türlü desteklerini esirgemeyen kıymetli hocalarım Prof. Dr. Ayşe MUHAMMETOĞLU ve Prof. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU'na teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca sabırla bana destek olan canım annem Fatma YAĞAR, babam Hacı Hüseyin YAĞAR ve kardeşlerim Ramazan, Özden, ve Oktay'a, Özden aileme, eşim Süleyman KOÇOĞLU'na ve tez çalışmam döneminde sürprizle hayatıma giren biricik bebeğime, kızıma teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans eğitim hayatım boyunca daima yanımda olan kardeşim, arkadaşım Semra EKİNCİ'ye teşekkür ederim.

Tez çalışmam sürecinde bana destek olan Aquamatch markasının Antalya bayisine ve Deniz İKİZ'e teşekkür ederim.

Kıymetli vakitlerini ayırıp tezimin geliştirilmesine katkı sağlayan jüri üyelerim Doç. Dr. Ayça ERDEM ÜNŞAR ve Prof. Dr. Muhammet Yunus PAMUKOĞLU'na teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasında kullanılan veriler için Ayça Erdem ve ASAT'tan gerekli izinler alınmıştır.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
AKADEMİK BEYAN.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	3
2.1. Su Kalite İndeks Modelleri ile Yapılan Ulusal ve Uluslararası Çalışmalar.....	3
2.2. Çalışma Alanına Ait Literatürde Yer Alan Çalışmalar.....	15
2.3. Çalışmada Kullanılan Yönetmelikler.....	17
3. MATERYAL VE METOT.....	22
3.1. Çalışma Alanı.....	22
3.1.1. Düden Çayı Havzasındaki Baskı Unsurları.....	31
3.2. Su Kalitesi.....	33
3.2.1. Su Kalite İndeksi.....	34
3.2.1.1. Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi (NSF-SKİ).....	35
3.2.1.2. Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi Su Kalite İndeksi (CCME-SKİ).....	41
3.2.1.3. British Columbia Su Kalite İndeksi (BC-SKİ).....	44
3.2.1.3. Oregon Su Kalite İndeksi (O-SKİ).....	45
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	53
4.1. Genel Su Kalitesi Değerlendirmesi.....	53
4.2. Su Kalite İndeks Hesaplamaları.....	75

4.2.1. Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks Modeline Göre	
Değerlendirme.....	75
4.2.2. Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi Su Kalite İndeks Modeline	
Göre Değerlendirme	79
4.2.3. British Columbia Su Kalite İndeks Modeline Göre Değerlendirme.....	82
4.2.4. Oregon Su Kalite İndeks Modeline Göre Değerlendirme.....	85
4.2.5. Tüm İndeks Sonuçlarının Birlikte Değerlendirilmesi.....	88
5. SONUÇLAR.....	94
6. KAYNAKLAR.....	98
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Düden Çayı Su Kalitesinin Farklı Su Kalite İndekslerine Göre Değerlendirilmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

...../...../2023

Yeliz YAĞAR

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

>	: Küçüktür
<	: Büyüktür
≤	: Küçük eşit
≥	: Büyük eşit
%	: Yüzde
μS	: Mikrosiemens
°C	: Derece santigrat
cm	: Santimetre
km	: Kilometre
km ²	: Kilometrekare
L	: Litre
mL	: Mililitre
mm	: Milimetre
mg	: Miligram
μg	: Mikrogram
t	: Ton
pH	: Hidrojen iyonu potansiyeli

Kısaltmalar

AKM	: Askıda Katı Madde
Al	: Alüminyum
As	: Arsenik

ASAT	: Antalya Su ve Atıksu İdaresi
ATI	: Sucul Toksisite İndeks
B	: Bor
Ba	: Baryum
B-SKİ	: Bascaron Su Kalitesi İndeksi
BC-SKİ	: British Columbia Su Kalite İndeksi
BOİ ₅	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (5 günlük)
Bq	: Radyoaktivite
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CCME-SKİ	: Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi Su Kalite İndeksi
Cd	: Kadmiyum
Cu	: Bakır
Cl ₂	: Serbest Klor
Cl ⁻	: Klorür İyonu
CN	: Siyanür
Co	: Kobalt
Cr ⁺⁶	: Krom
CSKİ	: Kanada Su Kalite İndeksi
ÇO	: Çözünmüş Oksijen
ÇO (%)	: Çözünmüş Oksijen Derişimi (Yüzdesi)
DO	: Dissolved Oxygen (Çözünmüş Oksijen)
DSİ	: Devlet Su İşleri
E-SKİ	: Çevresel Su Kalite İndeksi

<i>E.coli</i>	: <i>Escherichia coli</i>
EC	: Electrical Conductivity (Elektriksel İletkenlik)
EMS	: En Muhtemel Sayı
Fe	: Demir
F ⁻	: Florür
FK	: Fekal koliform
HCA	: Hiyerarşik Kümeleme Analizi
HEI	: Ağır Metal Değerlendirme İndeksi
Hg	: Cıva
HPI	: Ağır Metal Kirlilik İndeksi
IRSKİ	: İran Su Kalitesi İndeksi
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Mn ⁺²	: Mangan
N ⁺³	: Azot
Na ⁺	: Sodyum
NDKA	: Nitelikli Doğal Koruma Alanı
Ni	: Nikel
NH ₃ -N	: Amonyak Azotu
NH ₄ ⁺ -N	: Amonyum Azotu
NO ₂ ⁻	: Nitrit
NO ₂ ⁻ -N	: Nitrit Azotu
NO ₃ ⁻ -N	: Nitrat Azotu

NO ₃ ⁻	: Nitrat
NSE	: Normalleştirilmiş Sapmalar Toplamı
NSF	: Ulusal Sanitasyon Vakfı
NSF-SKİ	: Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi
NTU	: Nephelometric Turbidity Unit
O-SKİ	: Oregon Su Kalite İndeksi
OIP	: Genel Kirlilik İndeksi
Pb	: Kurşun
PCA	: Temel Bileşen Analizi
PI	: Kirlilik İndeksi
S ⁼	: Sülfür
SÇD	: Su Çerçeve Direktifi
Se	: Selenyum
SEQ-Eau	: Système D'Evaluation De La Qualite Des Eaux (Su Kalitesi Değerlendirme Sistemi)
SKİ	: Su Kalite İndeksi
SKİ _{min}	: Minimum Su Kalite İndeksi
SKKY	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
Sr	: Stronsiyum
T	: Sıcaklık
TÇM	: Toplam Çözünmüş Madde
TDS	: Total Dissolved Solids (Toplam Çözünmüş Katılar)
TP	: Toplam Fosfor

TKM	: Toplam Katı Madde
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
U-SKİ	: Evrensel Su Kalitesi indeksi
W	: Ağırlık Katsayısı
WA-SKİ	: Ağırlıklı Aritmetik Su Kalitesi İndeksi
YSKY	: Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği
Zn	: Çinko

Tezde sayıların ondalık ayırıcı olarak “nokta” işareti kullanılmıştır.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Nehirlerde yapılmış SKİ çalışmaları.....	3
Şekil 2.2. Göllerde yapılmış SKİ çalışmaları.....	4
Şekil 2.3. Denizlerde yapılmış SKİ çalışmaları.....	4
Şekil 3.1. Türkiye Havzaları.....	22
Şekil 3.2. Antalya Havzası'nın alt havzaları.....	24
Şekil 3.3. Antalya Havzası'nın başlıca akarsuları.....	24
Şekil 3.4. Düden Çayı Havzası.....	25
Şekil 3.5. Düden Çayı Nitelikli Doğal Koruma Alanı haritası (Yeşil renk: Nitelikli Doğal Koruma Alanı (NDKA), Kırmızı renk: Kesin Korunacak Hassas Alan).....	26
Şekil 3.6. Düden Çayı izleme istasyonlarının haritası.....	27
Şekil 3.7. Kırkgöz Pınarlarında gözlenen kirliliklerden çeşitli görüntüler.....	28
Şekil 3.8. Düden Çayı kanalının geçtiği yerlerden çeşitli görüntüler.....	29
Şekil 3.9. Düden Çayı kanal boyundan görüntüler.....	29
Şekil 3.10. Düden Cırnık Köprüsünden görüntü.....	30
Şekil 3.11. Düden Çayı Lara yakınlarından görüntüler.....	30
Şekil 3.12. Düden Şelalesi deniz döküm noktası.....	31
Şekil 3.13. Sıcaklık değişimi için Q değerleri.....	36
Şekil 3.14. Çözünmüş oksijen için Q değerleri ($\text{ÇO} > \%140$ olduğunda $Q=50$).....	36
Şekil 3.15. pH için Q değerleri ($\text{pH} < 2$ ve $\text{pH} > 12$ olduğunda $Q=0$).....	37
Şekil 3.16. BOİ_5 için Q değerleri ($\text{BOİ}_5 > 30$ olduğunda $Q=2$).....	37
Şekil 3.17. Toplam fosfor için Q değerleri (Toplam Fosfor > 100 mg/L olduğunda $Q=2$).....	38
Şekil 3.18. Bulanıklık için Q değerleri (Bulanıklık > 100 mg/L olduğunda $Q=5$).....	38
Şekil 3.19. Fekal koliform için Q değerleri (Fekal koliform $> 100\ 000/100$ ml olduğunda $Q=2$).....	39
Şekil 3.20. Toplam katı madde için Q değerleri (TKM > 500 mg/L olduğunda $Q=20$).....	39
Şekil 3.21. Çözünmüş oksijen derişimi için alt – indis değeri.....	47
Şekil 3.22. Çözünmüş oksijen doygunluğu için alt – indis değeri.....	47
Şekil 3.23. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ_5) için alt- indis değeri.....	48
Şekil 3.24. Amonyak + Nitrat azotu için alt – indis değeri.....	48
Şekil 3.25. Toplam fosfor için alt – indis değeri.....	49
Şekil 3.26. pH için alt – indis değeri.....	49
Şekil 3.27. Toplam katı madde için alt – indis değeri.....	50
Şekil 3.28. Fekal koliform için alt–indis değeri.....	50
Şekil 3.29. Sıcaklık için alt – indis değeri.....	51
Şekil 4.1. Düden Çayı'nda ölçülen çözünmüş oksijen değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022).....	60
Şekil 4.2. Düden Çayı'nda ölçülen pH değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022).....	61
Şekil 4.3. Düden Çayı'nda ölçülen toplam fosfor değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022).....	62
Şekil 4.4. Düden Çayı'nda ölçülen fekal koliform değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022).....	63

Şekil 4.5. Düden Çayı'nda ölçülen nitrat azotu değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022).....	64
Şekil 4.6. Düden Çayı'nda ölçülen amonyum azotu değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022)..	65
Şekil 4.7. Düden Çayı'nda ölçülen kimyasal oksijen ihtiyacı değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022).....	66
Şekil 4.8. Düden Çayı'nda ölçülen demir değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022).....	67
Şekil 4.9. Düden Çayı'nda ölçülen klorür değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022).....	68
Şekil 4.10. Düden Çayı'nda ölçülen sülfat değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022).....	68
Şekil 4.11. Düden Çayı'nda ölçülen mangan değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022).....	69
Şekil 4.12. Düden Çayı'nda ölçülen alüminyum değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022).....	70
Şekil 4.13. Düden Çayı izleme istasyonlarının tüm mevsimler için NSF-SKİ değerleri (2001-2002).....	78
Şekil 4.14. Düden Çayı izleme istasyonlarının tüm mevsimler için NSF-SKİ değerleri (2021-2022).....	79
Şekil 4.15. Düden Çayı 2. Sınıf su kullanımları için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış CCME-SKİ değerleri (Ocak 2001-Şubat 2002).....	81
Şekil 4.16. Düden Çayı 2. Sınıf su kullanımları için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış CCME-SKİ değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022).....	82
Şekil 4.17. Düden Çayı 2. Sınıf su kalitesi için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış BC-SKİ değerleri (Ocak 2001-Şubat 2002).....	84
Şekil 4.18. Düden Çayı 2. Sınıf su kalitesi için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış BC-SKİ değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022).....	85
Şekil 4.19. Düden Çayı izleme istasyonlarının tüm mevsimler için O-SKİ değerleri 2001-2002.....	86
Şekil 4.20. Düden Çayı izleme istasyonlarının tüm mevsimler için O-SKİ değerleri 2021-2022.....	87
Şekil 4.21. Düden Çayı Ocak 2001- Şubat 2002 periyoduna ait ortalama su kalite indeks sonuçlarının su kalite indeks modellerine göre karşılaştırılması	90
Şekil 4.22. Düden Çayı Ocak 2021- Şubat 2022 periyoduna ait ortalama su kalite indeks sonuçlarının su kalite indeks modellerine göre karşılaştırılması	91

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Kıta içi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizikokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri YSKY 2021.	18
Çizelge 2.2 Su Kalite Sınıfı Renk Kodları YSKY 2021.....	18
Çizelge 2.3 Kıta içi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri (Değişik Tablo 1:Rg-13/2/2008-26786).....	20
Çizelge 3.1. Antalya Bölge 17302 numaralı istasyondan alınan meteorolojik veriler.....	23
Çizelge 3.2. Düden Çayı izleme istasyonlarına ait bilgiler.....	28
Çizelge 3.3. Düden Çayı izleme istasyonlarına ait bilgiler.....	28
Çizelge 3.4. Antalya il ve ilçelere göre 2022 nüfus verileri ve yıllık nüfus artış hızı.....	32
Çizelge 3.5. Antalya ilçelerine ait tarım ve örtülü tarım alanları.....	32
Çizelge 3.6. NSF-SKİ modelinde kullanılan parametrelerin ağırlık faktörleri.....	40
Çizelge 3.7. Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks (NSF-SKİ) modelinin kalite sınıflandırma ölçeği.....	40
Çizelge 3.8. Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks modelinin avantaj ve dezavantajları.....	41
Çizelge 3.9. Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi Su Kalite İndeks modelinin kalite sınıflandırma ölçeği.....	43
Çizelge 3.10. Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi Su Kalite İndeks modelinin avantaj ve dezavantajları.....	43
Çizelge 3.11. British Columbia Su Kalite İndeks modelinin kalite sınıflandırma ölçeği.....	44
Çizelge 3.12. British Columbia Su Kalite İndeksinin avantaj ve dezavantajları.....	45
Çizelge 3.13. Oregon –SKİ her bir parametreye ait alt indis değerleri.....	46
Çizelge 3.14. Oregon Su Kalite İndeks modelinin kalite sınıflandırma ölçeği.....	51
Çizelge 3.15. Oregon Su Kalite İndeksinin avantaj ve dezavantajları.....	52
Çizelge 4.1. Ocak 2001- Şubat 2002 periyoduna ait istasyonlar için ölçüm yapılan parametrelerin yıllık ortalamalara göre su kalite sınıfları.....	55
Çizelge 4.2. Kırkgözler Kanalı izleme istasyonu ölçüm parametrelerine ait su kalite sınıfları (Ocak 2001- Şubat 2002).....	56
Çizelge 4.3. Düdenbaşı Mevkii izleme istasyonu ölçüm parametrelerine ait su kalitesi sınıfları (Ocak 2001- Şubat 2002).....	57
Çizelge 4.4. Koyunlar Regülatörü izleme istasyonu ölçüm parametrelerine ait su kalite sınıfları (Ocak 2001- Şubat 2002).....	58
Çizelge 4.5. Gençlik Parkı izleme istasyonu ölçüm parametrelerine ait su kalite sınıfları (Ocak 2001- Şubat 2002).....	59
Çizelge 4.6. Ocak 2021-Şubat 2022 periyoduna ait istasyonlar için ölçüm yapılan parametrelerin yıllık ortalamalara göre su kalite sınıfları.....	71
Çizelge 4.7. Düden Şelale Kaynak izleme istasyonu ölçüm parametrelerine ait su kalite sınıfları 2021-2022.....	71
Çizelge 4.8. Düden Şelale Karışım izleme istasyonu ölçüm parametrelerine ait su	

kalite sınıfları 2021-2022.....	72
Çizelge 4.9. Cırnık Köprüsü izleme istasyonu ölçüm parametrelerine ait su kalite sınıfları 2021-2022.....	72
Çizelge 4.10. Düden Şelale Deniz Döküm Yeri izleme istasyonu ölçüm parametrelerine ait su kalite sınıfları 2021-2022.....	73
Çizelge 4.11. Çalışmada Ocak 2001-Şubat 2002 periyoduna ait indeks hesaplamalarında kullanılan yedi parametre için ağırlık faktörleri.....	76
Çizelge 4.12. Çalışmada Ocak 2021-Şubat 2022 periyoduna ait indeks hesaplamalarında kullanılan dört parametre için ağırlık faktörleri.....	76
Çizelge 4.13. Düden Çayı izleme istasyonlarına ait NSF-SKİ hesaplama sonuçları ve kalite sınıfları (2001-2002).....	77
Çizelge 4.14. Düden Çayı izleme istasyonlarına ait NSF-SKİ hesaplama sonuçları ve kalite sınıfları (2021-2022).....	78
Çizelge 4.15. CCME-SKİ ve BC-SKİ hesaplamalarında kullanılan parametreler ve yönetmelik limit değerleri.....	80
Çizelge 4.16. Düden Çayı 2. sınıf su kalitesi için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış CCME-SKİ değerleri ve kalite sınıfları (Ocak 2001-Şubat 2002).....	81
Çizelge 4.17. Düden Çayı 2. sınıf su kalitesi için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış CCME-SKİ değerleri ve kalite sınıfları (Ocak 2021-Şubat 2022).....	82
Çizelge 4.18. Düden Çayı 2. sınıf su kalitesi için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış BC-SKİ değerleri ve kalite sınıfları (Ocak 2001-Şubat 2002).....	83
Çizelge 4.19. Düden Çayı 2. sınıf su kalitesi için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış BC-SKİ değerleri ve kalite sınıfları (Ocak 2021-Şubat 2022).....	84
Çizelge 4.20. Düden Çayı izleme istasyonlarına ait O-SKİ hesaplama sonuçları ve kalite sınıfları 2001-2002.....	86
Çizelge 4.21. Düden Çayı izleme istasyonlarına ait O-SKİ hesaplama sonuçları ve kalite sınıfları 2021-2022.....	87
Çizelge 4.22. Çalışmada kullanılan indeks modellerinin kalite sınıflandırma ölçeği.....	88
Çizelge 4.23. Düden Çayı Ocak 2001- Şubat 2002 periyoduna ait ortalama su kalite indeks sonuçları.....	89
Çizelge 4.24. Düden Çayı Ocak 2021- Şubat 2022 periyoduna ait ortalama su kalite indeks sonuçları.....	89

1. GİRİŞ

Su, canlılığın temel ihtiyaç kaynağı olduğu için; temin edilmesi, korunması ve sürdürülebilirliği hassasiyet gösterilmesi gereken konulardır. Tarihte insanlar konargöçer yaşamlarını su kaynaklarının bulunduğu yerlerde kurmayı tercih etmişlerdir. İçme-kullanma, tarımsal amaçlı ve endüstriyel faaliyetler gibi birçok alanda suya ihtiyaç duyulmaktadır. Dünya nüfusunun artış göstermesine bağlı olarak her geçen gün artan su ihtiyacı ve bilinçsiz su tüketimi; su kaynaklarının azalmasına ve kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Talep edilen su miktarı arttıkça tatlı su kaynaklarının kirlenme riski de artış göstermektedir (Çiftçi 2021; Alver ve Baştürk 2019).

Su kaynaklarının kirlenmesinde; kentsel yerleşimlerden oluşan evsel atıklar, yoğun tarımsal faaliyetlerden kaynaklı zirai atıklar, turizm faaliyetleri, asit yağmurları, erozyonla taşınan toprak ve yabancı maddeler (ağır metaller) gibi fiziksel, biyolojik ve kimyasal unsurlar etkili olmaktadır (Dede ve Sezer 2016). Bunlarla birlikte, su kaynaklarının kalitesi ve miktarı üzerindeki baskıların iklim değişikliği ile arttığı bilinmektedir. Buzulların erimesi, deniz seviyesinde yükselme, yağışların azalması, orman yangınlarından kaynaklanan sera gazları, hava sıcaklıklarının artması, yeraltı ve yüzey sularında azalmalara sebep olmaktadır (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2016). Su kıtlığının önüne geçerek, su kütlelerinin korunması ve daha iyi yönetilebilmesini sağlamak için gerekli çaba ve özenin gösterilmesi gerekmektedir.

Avrupa Birliği'nde (AB) bulunan tüm yeraltı suları, sulak alanlar ve kıta içi su kütlelerini kapsayan ve çevresel hedefler doğrultusunda bu suların gerçekçi bir şekilde korunması ve yönetimi amacıyla çıkarılan 2000/60/EC sayılı AB Su Çerçeve Direktifi (SÇD) bir rehber niteliğindedir. Ülkemizde de güncel su koruma ve yönetimi konusunda önemli bir noktada yer alan bu direktifin uygulanması aşamasında yaşanan en büyük sorun havza bazlı yönetimin uygulanma aşamasıdır. Bu noktada su kütlelerini koruma, sınıflandırma, değerlendirme ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile uyumlu bir şekilde bu politikanın sağlanması ve geliştirilmesi amacıyla SÇD'ye ek olarak Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği ışığında hareket edilmektedir. Bu bağlamda bahsedilen çevresel hedefler kapsamında yer alan iyi su durumuna ulaşmak amacıyla atılması gereken adımlar, mevcut durumun tespiti ve suyun kullanım amacı da göz önünde bulundurularak gereken tedbirlerin alınması şeklinde özetlenebilmektedir. Suyun mevcut durum tespiti ve karakterizasyonu, SÇD'de yer alan çevresel hedefler doğrultusunda iyi ekolojik durum ve iyi kimyasal duruma ulaşılmasını sağlamak için atılması gereken adımlardandır. Bu amaçla su kalitesinin izlenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Su kalitesi; suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri değerlendirilerek, kullanım alanları için uygunluğunu belirlemektedir. Sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen, bulanıklık, besinler ve mikroorganizmalar, kimyasallar ve kirleticiler su kalitesini etkileyebilecek etkenlerdir. İçme-kullanma, tarımsal, endüstriyel ve rekreasyonel kullanımlar için su kütlelerinin kalitesi farklılık gösterebilir. Örneğin; 1. Sınıf sular içme-kullanma suyu olarak

kullanılırken, 3. Sınıf sular ise endüstriyel amaçlı kullanılabilir (Hepsağ 2003; Çiftçi 2021; Aydın 2022).

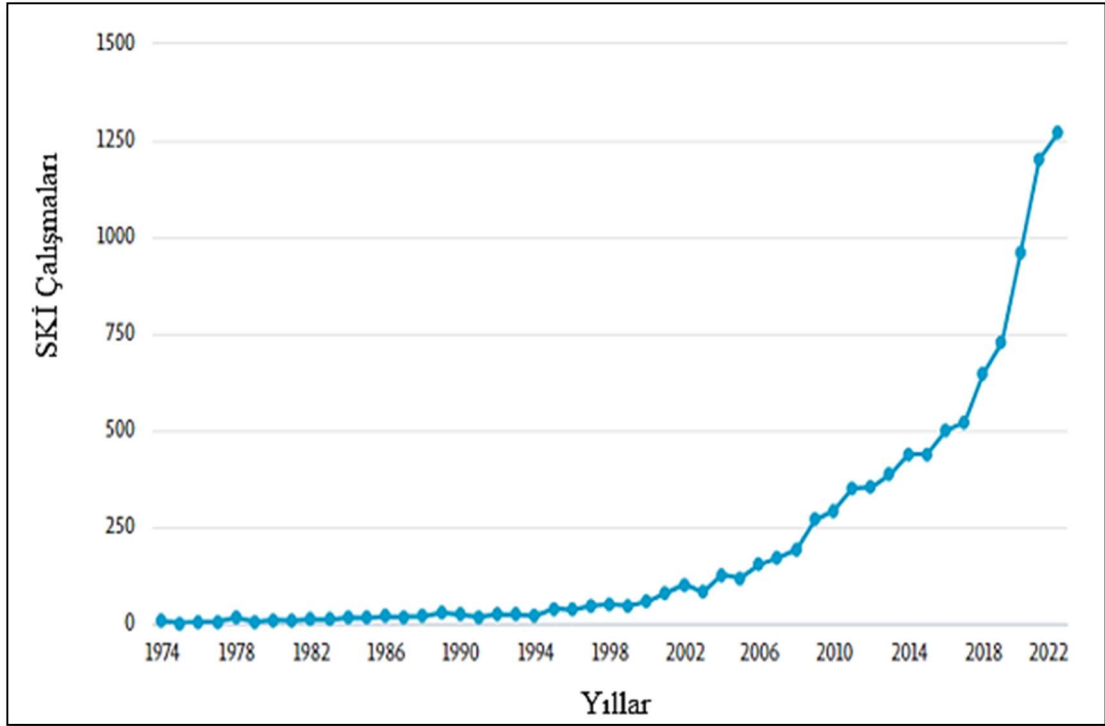
Su Kalite İndeksleri (SKİ), su kütlelerinin kalitesinin değerlendirilmesinde pratik bir şekilde hesaplanabilen modellerdir. Söz konusu modeller su kalitesindeki uzun zamanlı değişimlerin zaman ve su kalite parametrelerine bağlı olarak tek bir değer ile açıklanmasına dayanan yöntemlerdir. Su kütleleri hakkında uzman olmayan kişi ve kurumların da su kalitesinin kalitesi hakkında daha anlaşılır, yeterli bilgi edinilebilmesini sağlayabilmesi nedeniyle de oldukça önemlidir. SKİ yönetici ve karar vericiler için basit, anlaşılır ve tek bir toplam değere karşılık gelen ölçeğe bakarak su kalitesinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Farklı birimlere sahip olan su kalite parametrelerini bir araya toplamakta ve 0 ila 100 aralığında bir değer vererek, su kalitesinin “mükemmel”, “iyi”, “orta”, “kötü” ve “çok kötü” gibi anlaşılır bir şekilde ifade edilmesini sağlamaktadır. Su kalitesi ile ilgili yeterli bilgi ve anlaşılır verinin bulunması, belirlenen çevresel hedeflere ulaşılabilmesi için su kalitesinde kötüye gidişin engellenmesi ve iyileştirilmesi için gerekli tedbirlerin alınmasında oldukça önemlidir (Durmuş 2021; Dede vd. 2013; Tyagi vd. 2013).

Antalya ilinin en önemli yerüstü su kaynaklarından olan Düden Çayı’nın tamamı kentin içinden akmakta ve sularını deniz turizmi açısından çok kıymetli olan Akdeniz’e boşaltmaktadır. Akdeniz’e taşıdığı kirlilik yükü sebebiyle; Düden Çayı’nın su kalitesinin iyileştirilmesi ve korunması oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında; Erdem (2002) tarafından yapılan çalışmadan ve Antalya Büyükşehir Belediyesi Su ve Atıksu İdaresi Genel Müdürlüğü’nden (ASAT) elde edilen su kalite verileri kullanılmıştır. Bu çalışmada, Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi Su Kalite İndeksi (CCME-SKİ), Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi (NSF-SKİ), British Columbia Su Kalite İndeksi (BC-SKİ) ve Oregon Su Kalite İndeksi (O-SKİ) modelleri baz alınarak Düden Çayı’nın su kalite sınıflarının belirlenmesi ve farklı indeks modellerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır.

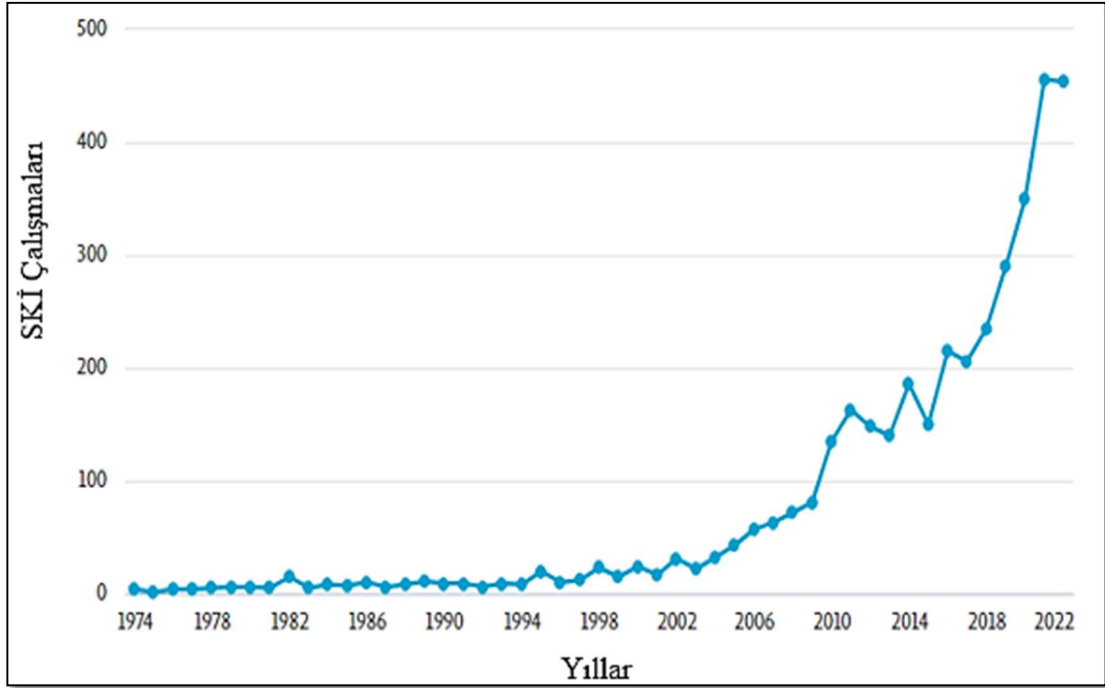
2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Su Kalite İndeks Modelleri ile Yapılan Ulusal ve Uluslararası Çalışmalar

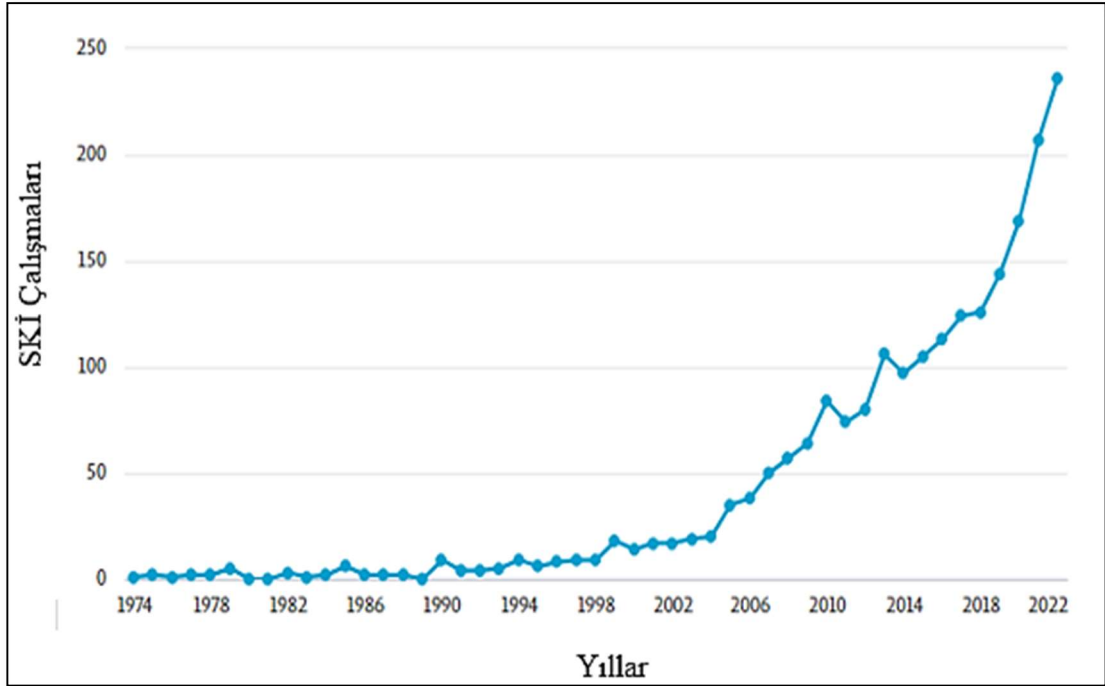
Su kalite indeks modelleri kullanılarak yapılmış çok sayıda ulusal ve uluslararası bilimsel çalışma bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda genellikle su kütlelerinin kalitesinin belirlenmesinde en uygun indeks yönteminin hangisi olduğuna karar vermek amacıyla birkaç su kalite indeks modeli kullanılarak yöntemler arasında elde edilen sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Yapılan çalışmaların incelenmesi sonucunda, hangi SKİ modelinin daha iyi sonuç verdiğinin çalışma alanının lokasyonuna, çalışılan su kütlelerinin türüne ve analiz edilen su kalite parametrelerine bağlı olarak farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Nehirler, göller ve denizler gibi yerüstü su kütlelerinde SKİ modelleri kullanılarak yapılan çalışmaların, Scopus verileri incelendiğinde 1974-2022 yılları arasında hızlı bir şekilde arttığı Şekil 2.1 - Şekil 2.3’de görülmektedir. Bu çalışmalar su kütlelerinin durumu hakkında halka ve karar vericilere bilgi sağlanması açısından oldukça faydalı olmaktadır.



Şekil 2.1. Nehirlerde yapılmış SKİ çalışmaları (Scopus 1974-2022)



Şekil 2.2. Göllerde yapılmış SKİ çalışmaları (Scopus 1974-2022)



Şekil 2.3. Denizlerde yapılmış SKİ çalışmaları (Scopus 1974-2022)

Bu çalışmanın literatür taraması aşamasında SKİ modellerinin dere, çay ve nehir gibi yerüstü su kütlelerinin kalitesinin değerlendirilmesinde kullanıldığı çalışmalara odaklanılmıştır.

Yeşilırmak Nehri, Terme Çayı, Cevizdere Deresi, Melet Irmağı, Aksu Deresi ve Harşit Çayı Karadeniz bölgesinin önemli akarsu kaynaklarıdır. Aydın (2022) çalışmada, bu akarsuların deşarj noktalarında su kalitesi, sediment kalitesi ve mikroplastik çeşitliliğini incelemiştir. Su örnekleri, Su Kalite İndeksi (SKİ), Ağır Metal Kirlilik İndeksi (HPI) ve Ağır Metal Değerlendirme İndeksi (HEI) yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada Kasım 2020 - Ağustos 2021 tarihleri arasında mevsimsel olarak düzenli örnekleme yapılmıştır. Analiz sonuçlarının sınıflandırılması Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKYY) ve Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY) kullanılarak yapılmıştır. Mikroplastikler ise tür, renk ve polimer çeşitlerine göre sınıflandırılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular neticesinde 6 istasyon için su kalite değerlerinin I – III. sınıf aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada, 0 - 100 aralığında değer alan su kalite indeks modelinde sonuçlar, Cevizdere Deresi'nde 48.48 ve Harşit Çayı'nda 47.48, Yeşilırmak Nehri'nde 53.65, Terme Çayı'nda 55.13, Melet Irmağı'nda 58.95 ve Aksu Deresi'nde 75.99'dur. Modelden elde edilen sonuçlar ile Cevizdere Dere ve Harşit Çayı'nda su kalitesinin "Mükemmel" kalitede olduğu, Yeşilırmak Nehri, Terme Çayı, Melet Irmağı ve Aksu Deresi'nde ise su kalitesinin "İyi" kalitede olduğu gözlemlenmiştir. Ağır metal kirliliği açısından HPI ve HEI indekslerine bakıldığında risk olmadığı tespit edilmiştir.

Türkiye'de Sakarya Nehir Havzası da dâhil olmak üzere toplam 25 havza bulunmaktadır. Porsuk Nehri ve Ankara Çayı, Sakarya Nehir Havzasının iki büyük koludur. Aydoğdu Kayadelen (2022) tarafından yapılan çalışmada, Kanada Su Kalite İndeks modeli (CSKİ) kullanarak Ankara Çayı'nın su kalitesi değerlendirilmiştir. DSI'nin belirlediği 5 istasyondan Şubat 2019 - Şubat 2020 tarihleri arasında 12 ay boyunca örnek alınmıştır. Alınan örneklerden 26 su kalite parametresi DSI laboratuvarları tarafından analiz edilmiştir. Bu veriler söz konusu çalışmada kullanılmak üzere DSI'den temin edilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, Ankara Çayı su kalitesi Kanada Su Kalitesi İndeks modeline göre "Çok İyi" ve "İyi" olarak sınıflandırılmıştır. Yüzey Suyu Kalite Yönetimi Yönetmeliği'ne göre ise parametrelerin çoğunun I. ve II. Sınıf kalitede olduğu görülmüştür. Kanada Su Kalitesi İndeks modelinin ayrıntılı sonuçlar verebildiği ve su kütlelerinin izlenmesi için kullanışlı bir araç olduğu vurgulanmıştır.

Bayır (2022)'a ait bir çalışmada Karasu Nehri'nin su ve sediment örnekleri ile yaygın bulunan 2 balık türünde ağır metal birikim düzeyleri tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında 5 gözlem noktasından Kasım 2019 - Ekim 2020 tarihleri arasında izleme çalışmaları yapılmıştır. İzleme çalışmalarından elde edilen veriler kullanılarak, Çevresel su kalitesi indeksi (E-SKİ), Kirlilik indeksi (PI), Ağır metal kirlilik indeksi (HPI), Su kalite indeksi (SKİ) değerleri hesaplanmıştır. Bulgular Karasu Nehri'nde bazı ağır metallerin yüksek ve çok yüksek düzeyde bulunduğunu ve bunun da bölgede yapılan madencilik, sanayi, tarımsal faaliyetler ve evsel atıklar gibi antropojenik kaynaklardan olabileceğini göstermiştir.

Ankara Çayı, Ankara İli içinden geçerek Sakarya Nehri'ne dökülmekte olup, Sakarya Havzası'nın önemli akarsularından birisidir. Durmuş (2021) çalışmasında Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks (NSF-SKİ) modelini kullanarak Ankara Çayı'nın su kalitesini değerlendirmiştir. Çalışmada, 2019-2020 yılları arasında 10 gözlem noktasından mevsimsel olarak su örnekleri alınmıştır. Alınan su örneklerinde 8 su kalite parametresinin (sıcaklık, pH, bulanıklık, fekal koliform, çözünmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, toplam fosfat ve toplam nitrat) analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçları kullanılarak su kalite indeks değerleri hesaplanmış ve birçok istasyonda su kalitesinin “kirli” olduğu tespit edilmiştir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği sınır değerler ile karşılaştırılarak elde edilen su kalite sınıfı ile indeks modeli kullanılarak belirlenen su kalite sınıfının birbiri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Aksu Çayı ve Acısu Deresi, Antalya Nehir Havzasında konumlanmaktadır. Aksu Çayı ve Acısu Deresi şehrin içinden geçerek Akdeniz'e dökülmektedir. Uslu (2022) Aksu Çayı ve Acısu Deresi'nin su kalitesini Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi Su Kalite İndeksi (CCME-SKİ), Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi (NSF-SKİ), Sucul Toksikite İndeksi (ATI) ve Su Kalitesi Değerlendirme Sistemi (SEQ-Eau) modellerini kullanarak değerlendirmiştir. Çalışmada kullanılan 4 farklı indeks modeli karşılaştırılarak su kalitesini sınıflandırmada en uygun indeks yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında Eylül 2020 - Eylül 2021 tarihleri arasında 24 örnekleme noktasından aylık düzenli izleme çalışmaları yapılmıştır. Yapılan izleme çalışmaları sonucunda, Aksu Çayı'nda bulunan 12 örnekleme noktasının su kalitesinin genel olarak “İyi” kalite sınıfında olduğu ve sadece Aksu-8 ve Aksu-10 örnekleme noktalarında su kalitesinin “Orta” sınıfa düştüğü gözlemlenmiştir. Acısu Deresi'nde bulunan 12 örnekleme noktasının su kalitesinin “İyi” ve “Orta” kalite sınıfında olduğu belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan 4 model arasında Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi Su Kalite İndeksi (CCME-SKİ) ve Su Kalitesi Değerlendirme Sistemi (SEQ-Eau) modellerinin uyumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Şahin (2018) Porsuk Çayı'nın su kalitesini Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks (NSF-SKİ) modelini kullanarak değerlendirmiştir. Çalışmada, 17 örnekleme noktasından Mayıs 2016 – Nisan 2017 tarihleri arasında her ay düzenli su örnekleri alınmıştır. Alınan su örneklerinde nehir suyunun kalitesini belirlemek için 8 su kalite parametresinin (sıcaklık, pH, bulanıklık, fekal koliform, çözünmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, toplam fosfat ve toplam nitrat) analizi yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda; Porsuk Çayı su kalitesinin “İyi” ve “Orta” kalite sınıfında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Kütahya çıkışında bulunan 7. örnekleme noktasının analiz değerlerine göre; “Kirli Su” sınıfında yer aldığı görülmüştür. Porsuk Nehri'nin kirlenmesinde; endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerin, önemli ölçüde etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Sakarya Havzası içerisinde yer alan Yukarı Sakarya Nehri'nin su kalitesinin mevsimlere bağlı değişimi; Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi (NSF-SKİ),

Kanada Su Kalite İndeksi (CSKİ) ve Oregon Su Kalite İndeks (O-SKİ) modelleri kullanılarak Çiftçi (2021) tarafından değerlendirilmiştir. Çalışmada 12 gözlem noktasından, 1 yıl boyunca mevsimsel olarak su örnekleri alınmıştır. Alınan su örnekleri için çeşitli fiziko-kimyasal, kimyasal ve biyolojik parametrelerin (sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen, çözünmüş oksijen doygunluğu, elektriksel iletkenlik, tuzluluk, bulanıklık, sülfat, amonyum, nitrit, nitrat, toplam fosfor, kimyasal oksijen ihtiyacı, biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve fekal koliform) analizleri yapılmıştır. Hesaplanan indeks değerleri incelendiğinde Oregon Su Kalite İndeks (OSKİ) modeli sonuçlarının mevsimsel bazda ciddi dalgalanmalar gösterdiği görülmüştür. Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi (NSF-SKİ) ve Kanada Su Kalite İndeksi (CSKİ) modellerinin, tüm örnekleme noktalarında benzer sonuçlar gösterdiği tespit edilmiştir. Nehrin su kalitesi değerlendirildiğinde; mevsimler arasında birbiri ile en uyumlu sonuçlar NSF-SKİ modeli ile elde edilmiştir. Örnekleme noktalarından biri olan Ankara Çayı'nın Yukarı Sakarya Nehri'nin su kalitesi üzerinde baskın kirlilik kaynağı olduğu sonucuna varılmıştır.

Aksu Çayı Giresun ili için önemli bir içme suyu kaynağıdır. Dede ve Sezer (2017) Aksu Çayı'nın su kalitesini Kanada Su Kalitesi İndeks Modeli (CSKİ) kullanılarak değerlendirmiştir. Çalışmada, 3 farklı gözlem noktasından 12 ay boyunca düzenli olarak su örnekleri alınmıştır. Düzenli olarak alınan örneklerde 36 farklı su kalite parametresi analiz edilmiştir. Aksu Çayı'nın içme suyu potansiyelini değerlendirmek amacıyla analiz sonuçları, TS 266 standart limit değerler, Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından belirlenen sınır değerler kullanılarak karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, 3 farklı gözlem noktasından elde edilen indeks değerleri su kalitesinin “Zayıf” olduğunu göstermiştir. Aksu Çayı'nın su kalitesinin bozulmasına neden olan ana kirletici parametrelerin T.coli, E.coli ve Fenol parametreleri olduğu tespit edilmiştir.

Aksaray ilinin içme suyu kaynakları arasında yer alan Karasu Nehri su kalitesi Alver ve Baştürk'ün (2019) yaptığı çalışmada Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi (NSF-SKİ), Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi Su Kalite İndeksi (CCME-SKİ) ve Oregon Su Kalite İndeks (O-SKİ) modelleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, Karasu Nehri üzerinde her ay düzenli olarak 7 ayrı gözlem noktasından Aralık 2015 ve Kasım 2016 tarihleri arasında su örnekleri alınmıştır. Dört mevsim boyunca alınan örneklerde su kalite parametreleri analiz edilmiştir. Analiz sonuçları, Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği, Dünya Sağlık Örgütüncel belirlenen sınır değerler, TS 266 içme suyu standartları ve İçme Suyu Elde Edilen veya Elde Edilmesi Planlanan Yüzeysel Suların Kalitesine Dair Yönetmelik'te yer alan sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Su kalitesi indeks modellerinden elde edilen sonuçlara göre Karasu Nehri su kalitesinin; Oregon Su Kalite İndeksine (O-SKİ) göre “Kötü”, Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksine (NSF-SKİ) göre “Orta” ve Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi Su Kalite İndeksine (CCME-SKİ) göre ise “Kötü” seviyede olduğu belirtilmiştir.

Türkiye'nin Doğu Karadeniz Havzasında yer alan Turnasuyu Çayı, Ordu ili içerisinde geçerek Karadeniz'e akmaktadır. Ustaoglu vd. (2020) çalışmada; Turnasuyu Çayı'nın su kalitesini, Su Kalite İndeks (SKİ) modelini kullanarak değerlendirmiştir. Çalışmada 3 gözlem noktasından (kaynak, orta ve en uç kısım) Şubat 2017 - Ocak 2018 tarihleri arasında dört mevsim izleme çalışması yapılmıştır. İzleme noktalarından alınan su örneklerinde genel fiziko-kimyasal ve biyolojik su kalite parametreleri izlenmiştir. İzleme yapılan su kalite parametreleri ilgili yönetmeliklerdeki sınır değerlerle karşılaştırılarak incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda; Turnasuyu Çayı'nın 4 mevsim boyunca elde edilen kalite değerleri kullanılarak hesaplanan su kalite indeks değerleri, sonbahar (20.57), kış (16.94), ilkbahar (21.30) ve yaz (17.04) olarak hesaplanmıştır. Su Kalite İndeks (SKİ) modeli sınıflandırma ölçeğinde; 0-25 aralığı "Çok İyi" kalite olarak değerlendirilir. Su kalite indeks değerlerinin, 4 mevsim bu aralıkta yer aldığı ve Turnasuyu Çayı'nın "Çok İyi" su kalitesine sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Melendiz Nehri, Aksaray ili topraklarında İhlara Vadisini oluşturan, şehrin içme ve sulama suyu olarak kullanılan akarsuyudur. Baştürk ve Alver (2019) tarafından yapılan çalışmada Melendiz Nehri'nin su kalitesi Ulusal Sanitasyon Vakfı SKİ (NSF-SKİ) ve Dinius SKİ modelleri kullanılarak farklı kullanım amaçlarına uygunluğu belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada Melendiz Nehri üzerinde 9 gözlem noktasından Aralık 2015 ile Kasım 2016 tarihleri arasında aylık su örnekleri alınmıştır. Alınan su örneklerinde 14 adet su kalite parametresinin (Alkalinite, Toplam Sertlik, Renk, BOİ₅, Klorür, Nitrat, Fosfat, pH, İletkenlik, TÇM, Bulanıklık, Sıcaklık, Fekal Koliform, Toplam Koliform) analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda; Melendiz Nehri'nin su kalitesinin Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks modeline göre "Orta" (63.83) ve Dinius Su Kalite İndeks modeline göre ise "Kötü" (55.22) su kalite sınıfında olduğu sonucuna varılmıştır. Nehir suyunun mevsimsel olarak değerlendirilmesinde mikrobiyal kirlenmelerin olduğu tespit edilmiştir. Nehir suyunun içme ve kullanma suyu durumuna uygun olmadığı, arıtılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Shatt Al-Kufa Nehri, Irak sınırları içerisinde yer alarak Fırat Nehri'nin bir kolunu oluşturmaktadır. Sabreen L.Kareem vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada; Shatt Al-Kufa Nehri'nin su kalitesi Ağırlıklı Aritmetik Su Kalitesi İndeksi (WA-SKİ), Kanada Çevre Bakanlar Konseyi Su Kalite İndeksi (CCME-SKİ) ve Oregon Su Kalite İndeksi (O-SKİ) modelleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada 3 gözlem noktasından 1 yıl (2015) boyunca her ay düzenli su örnekleri alınarak 15 su kalite parametresinin analizi yapılmıştır. Yapılan analizlerde, 3 indeks modeli Fosfat parametresi dahil edilerek ve dahil edilmeyerek 2 kez hesaplama yapılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen 3 gözlem noktası için Ağırlıklı Aritmetik Su Kalitesi İndeks (WA-SKİ) modeline göre Fosfat'ın dahil edildiği durumda "İyi" kalite sınıfında, dahil edilmediği durumda "Çok Kötü" su kalite sınıfında olduğu görülmüştür. Kanada Çevre Bakanlar Konseyi Su Kalite İndeks (CCME-SKİ) modeline göre Fosfat'ın dahil edildiği durumda "Orta" ve dahil edilmediği durumda ise "Zayıf" su kalite sınıfında olduğu görülmüştür. Oregon Su Kalite İndeks (O-

SKİ) modeline göre ise 2 durumda da “Çok Kötü” su kalite sınıfında olduğu sonucuna varılmıştır.

Mahananda Nehri, Hindistan da bulunan Siliguri şehrinin sınırları içerisinde yer almaktadır. Parween vd.(2022) Mahananda Nehri'nin su kalitesini değerlendirmek için değiştirilmiş Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks (NSF-SKİ) modelini kullanmıştır. Bu çalışmada, 5 gözlem noktasından Nisan-Haziran 2021 tarihleri arasında sadece yaz mevsimini kapsayacak şekilde su örnekleri alınarak izleme yapılmıştır. Alınan su örneklerinde 14 adet su kalite parametresi analiz edilmiştir. Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler kullanılarak indekisin hesaplanmasında parametre sayısı 12'ye düşürülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda; Mahananda Nehri'nin su kalitesinin Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks (NSF-SKİ) modeline göre kentsel alan sınırları içerisinde olan gözlem noktalarında “Orta”, kentsel alan sınırları dışında olan gözlem noktalarında ise “İyi” su kalitesi sınıfına sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Danube (Tuna) Nehri; Romanya, Macaristan, Sırbistan, Almanya, Avusturya, Bulgaristan, Slovakya, Hırvatistan, Ukrayna ve Moldova ülkelerinden geçmektedir. Avrupa'nın en büyük ikinci nehir havzasıdır. Ismail vd.(2018) bu çalışmada, Kanada Çevre Bakanlar Konseyi Su Kalitesi İndeks (CCME-SKİ) modeli kullanılarak Danube Nehri'nin su kalitesini değerlendirmiştir. Nehir suyu kalitesinin mekansal ve zamansal değişimleri hakkında bilgi sağlamayı amaçlamışlardır. Çalışmada 4 örnekleme noktasından 1 yıl boyunca su örnekleri alınarak, 13 adet su kalite parametresinin (çözünmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, amonyum, nitratlar, toplam fosfor, su sıcaklığı, pH, toplam askıda katı madde, kadmiyum, bakır, krom, nikel ve kurşun) analizi yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, Kanada Çevre Bakanlar Konseyi Su Kalitesi İndeks (CCME-SKİ) modeline göre 2. Örnekleme noktası “Kötü”, diğer örnekleme noktalarının ise “Orta” su kalite sınıfına sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Su kalitesini olumsuz etkileyen en önemli parametrelerin amonyum, toplam fosfor, su sıcaklığı ve toplam askıda katı madde miktarı olduğu tespit edilmiştir.

Ismail ve Robescu (2019) çalışmalarında Danube Nehri'nin su kalitesinin zamansal ve mekânsal değişimini değerlendirmek amacıyla 6 farklı su kalite indeks modelini kullanmış ve model sonuçlarını karşılaştırmıştır. Çalışmada Danube Nehri üzerinde 4 örnekleme noktasından 1 yıl boyunca su örnekleri alınarak 13 adet su kalite parametresinin analizi yapılmıştır. Daha sonra nehrin su kalite indeksini belirlemek amacıyla Kanada Çevre Su Kalitesi İndeksi (CCME-SKİ), Oregon Su Kalitesi İndeksi (O-SKİ), Sucul Toksisite İndeksi (ATI), Evrensel Su Kalitesi indeksi (U-SKİ), Genel Kirlilik İndeksi (OIP) ve Bascaron Su Kalitesi İndeksi (B-SKİ) kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda dört örnekleme istasyonunda Danube Nehri'nin su kalitesi CCME-SKİ için “Orta”, O-SKİ için “Çok Kötü”, ATI için “Tüm balık yaşamı için uygun”, U-SKİ için “İyi”, OIP için “Kabul edilebilir” ve B-SKİ için “İyi” su kalite sınıfında olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada kullanılan modellerin karşılaştırılması sonucunda,

Kanada Çevre Su Kalite İndeks modelinin Danube Nehri'nin ham verilerine kıyasla daha uygun sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır.

Narmada Nehri, Hindistan'ın Madhya Pradesh, Gujarat, Maharashtra ve Chhattisgarh eyaletlerinden geçen en büyük nehridir. Hindistan sınırları içerisinde akan en uzun 5. nehridir. Gupta vd. (2017) çalışmasında; Narmada Nehri'nin su kalitesini Ağırlıklı Aritmetik Su Kalite İndeksi (WA-SKİ), Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi (NSF-SKİ) ve Kanada Çevre Bakanlar Konseyi Su Kalite İndeks (CCME-SKİ) modellerini kullanarak değerlendirmiştir. Çalışmada 2009-2012 yılları arasında 6 örnekleme noktasından su örnekleri alınarak 8 su kalite parametresinin (Nitrat-Azotu, pH, Çözünmüş Oksijen, Fosfat, Biyolojik Oksijen İhtiyacı, Bulanıklık, Toplam Çözünmüş Katı ve Sıcaklık) analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda; Narmada Nehri'nin su kalitesinin yaz mevsiminde “Mükemmel”, kış mevsiminde “İyi” ve mevsim musonunda ise “Kötü” kalite sınıfında olduğu görülmüştür. Yaz ve kış mevsimlerinde insani tüketime uygun olduğu ve mevsim musonunda ise insani tüketime uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Muson mevsiminde su kalitesindeki düşüşün yetersiz sanitasyon, türbülanslı akış, toprak erozyonu ve yüksek antropojenik faaliyetlerden kaynaklandığı gözlemlenmiştir. Çalışmada kullanılan modellerin karşılaştırılması sonucunda Ağırlıklı Aritmetik Su Kalite İndeks modelinin su kalitesi hakkında daha iyi fikir verdiği sonucuna varılmıştır.

Queen vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada Kaduna Nehri'nin su kalitesi Kanada Çevre Bakanlar Konseyi Su Kalite İndeks (CCME-SKİ) modeli kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada yağışlı ve kurak mevsimleri kapsayan 10 örnekleme noktasından Temmuz, Ağustos, Eylül, Kasım, Ocak ve Şubat aylarında 60 adet su örneği alınarak izleme çalışmaları yapılmıştır. Yapılan izleme çalışmasında 13 adet su kalite parametresinin (Cd, Cu, Pb, Ni, Cr, Zn, Mn, Fe, Bulanıklık, TDS, DO, pH ve EC) analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda; 5 örnekleme noktasının (Barnawa, Tudun Wada, Makera, Angwan Mu'Azı ve Kudende) su kalite indeks değerlerinin (31.8-42) aralığında değiştiği ve “Çok Kötü” kalitede olduğu, diğer 5 örnekleme noktasının ise (Kawo, Angwan Dosa, Malali, Kigo ve Angwan Rimi) su kalite indeks değerlerinin (45-61.3) aralığında değiştiği ve “Kötü” su kalite sınıfına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Kaduna Nehri'nin su kalitesinin tehdit altında olduğu gözlemlenmiş olup; endüstriyel atıklar, tarımsal ve ağır kentsel atıkların su kalitesi üzerinde dikkate değer bir etkisi olabileceği sonucuna varılmıştır.

Qarah-Chay Nehri, İran'ın Markazi, Hamedan ve Qom eyaletlerinden geçmektedir. Qarah-Chay İran'ın en önemli nehri olup, içme suyu kaynaklarından birisidir. Goudarzi vd. (2022) yapmış olduğu çalışmada, Qarah-Chay Nehri'nin su kalitesini İran Su Kalite İndeksi (IRSKİ), ABD Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi (NSF-SKİ) ve Oregon Su Kalite İndeksi (O-SKİ) modellerini kullanılarak değerlendirmiştir. Çalışmada, 6 gözlem noktasından 13 adet su kalite parametresinin (pH, Sıcaklık, Bulanıklık, Çözünmüş Oksijen, Biyolojik Oksijen İhtiyacı, Nitrat, Fosfat, F.

Koliform, Toplam Katı, Kimyasal Oksijen İhtiyacı, Toplam Sertlik, Elektriksel İletkenlik ve Amonyum) analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda; Qarah-Chay Nehri'nde en yaygın kirlilik kaynağının, tarım ve endüstriyel atıksu olduğu tespit edilmiştir. Pek çok baskıya maruz kalan bir alan olması nedeniyle uygun yerlere su kalitesi izleme istasyonlarının eklenmesine ihtiyaç olduğu izlenimine varılmıştır.

Zotou vd. (2019) yaptığı çalışmada, Kuzey Yunanistan'ın Rhodope bölgesinde yer alan Vosvozis Nehri'nin su kalitesi (Prati's Su Kalite İndeksi, Bhargava's Su Kalite İndeksi, Oregon Su Kalite İndeksi, Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi, Kanada Çevre Bakanları Konseyi Su Kalite İndeksi, Dinius' Second Su Kalite İndeksi ve Ağırlıklı Aritmetik Su Kalite İndeksi) 7 farklı su kalite indeks modeli kullanılarak değerlendirilmiş ve modellerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmada, Vosvozis Nehri üzerinde 3 gözlem noktasından Ağustos 2005 - Kasım 2006 tarihleri arasında iki haftada bir su örnekleri alınmıştır. Alınan su örneklerinde 13 su kalite parametresinin analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, farklı metodolojiler arasında sınıflandırma sonuçları açısından önemli farklılıklar gözlemlenmiştir. Bhargava's Su Kalite İndeksi ve Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndekslerinin daha iyi kalite sınıflarına ayırma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Prati's İndeksinin "orta", Oregon ve CCME-SKİ'lerinin "daha düşük" kalite sınıflarında sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Çalışmada kullanılan modellerin karşılaştırılması sonucunda, Kanada Çevre Bakanları Konseyi Su Kalite İndeks modelinin daha uygun sonuçlar verdiği ve Oregon SKİ'ye kıyasla daha "hassas" olduğu görülmüştür. Çalışmada kullanılan indeks modellerinin performanslarıyla ilgili daha güvenilir sonuçlar vermesi için yeterli sayıda su kütlelerinde uygulanması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Citarum Nehri, Endonezya'nın Batı Java bölgesindeki en uzun ve en büyük üçüncü nehirdir. Dünyanın en kirli nehirlerinden biri olarak kabul edilmiştir. Marselina vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada Citarum Nehri'nin su kalitesi Ulusal Sanitasyon Vakfı SKİ (NSF-SKİ), Kanada Çevre Bakanları Konseyi SKİ (CCME-SKİ) ve Oregon SKİ (O-SKİ) modelleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, 4 örnekleme noktasından 9 yıl boyunca (2011-2019 yılları arasında) yağışlı ve kurak dönemleri kapsayan izleme çalışmaları yapılmıştır. İzleme yapılan örnekleme noktalarından 16 adet su kalite parametresinin (sıcaklık, çözünmüş katılar, askıda katılar, pH, ÇO, BOİ₅, KOİ, serbest amonyak, nitrat, toplam fosfat, yağ ve gres, deterjan, fenol, serbest klor, fekal koliform ve toplam koliform) analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda Ulusal Sanitasyon Vakfı SKİ (NSF-SKİ) modeline göre su kalite indeksinin kurak aylarda 38.2-60.9 arasında ve yağışlı aylarda 49.1-62.3 arasında su kalite değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Kanada Çevre Bakanları Konseyi SKİ (CCME-SKİ) modeline göre kurak aylarda 12.7-31.5 aralığında ve yağışlı aylarda 21.2-33.1 aralığında su kalite indeks değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Oregon SKİ (O-SKİ) modeline göre ise kurak aylarda 11.5-18.8 ve yağışlı aylarda 13.9-24.6 arasında değişen değerlere sahip olduğu görülmüştür. Yağışlı ayların, kurak aylara göre daha iyi su kalite sınıfına sahip olma

eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Çalışmada, Citarum Nehri'nin yüzey suyu kalitesini belirlemek için en uygun su kalite değerlendirme yönteminin Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks (NSF-SKİ) modeli olduğu sonucuna varılmıştır.

Mesta Nehri, Batı Trakya ve Makedonya arasında sınır kabul edilen Bulgaristan'da doğan Yunanistan topraklarından Ege Denizi'ne dökülen akarsudur. Yotova vd. (2021)'nin çalışmasında, Mesta Nehri'nin yüzey suyu kalitesi Self-Organizing Maps (SOM) ve Kanada Çevre Bakanları Konseyi SKİ (CCME-SKİ) yöntemini birleştiren yeni bir su kalitesi değerlendirme yaklaşımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Mesta Nehri havzasında bulunan 10 örnekleme istasyonunda 2008–2018 yılları arasında izleme yapılarak, 9 su kalite parametresinin analiz çalışmaları yapılmıştır. Toplanan su kalitesi izleme verileri Bulgaristan mevzuatına göre değiştirilmiş CCME SKİ kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, Kanada Çevre Bakanları Konseyi SKİ (CCME-SKİ) değerlendirmesi ile çok değişkenli Self-Organizing Maps (SOM) tekniği arasındaki kombinasyonun nehir havzası su kalitesi değerlendirmesi için uygun bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Yöntemin uygulanması, su yönetimi yetkilileri tarafından kullanılabilir kesin bir nehir havzası su kalitesi değerlendirme verilerinin elde edilmesini mümkün kılmıştır.

Ganj Nehri, Hindistan'ın kuzeyinden başlayarak Bangladeş'e uzanan bir akarsudur. Bhutiani vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada Ved Prakash'ın Ganj Nehri İndeksi, Ağırlıklı Aritmetik Su Kalite İndeksi (WA-SKİ) ve Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks (NSF-SKİ) modelleri kullanılarak Ganj Nehri'nin su kalitesi değerlendirilmiştir. Çalışmada, 2000-2010 yılları arasında 11 yıl boyunca izleme çalışmaları yapılmıştır. Nehrin su kalitesini belirlemek için 16 adet fiziko-kimyasal parametrenin analizleri yapılmıştır. Analizlerden elde edilen verilerle izleme yapılan Ganj Nehri'nin içme, sulama ve diğer insani kullanım amaçlarına uygunluğu incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, Ganj Nehri'nin su kalitesinin farklı indeks sonuçlarına göre çok az farklılık gösterdiği, kalite değerlerinin birbirine yakın olduğu sonucuna varılmıştır. Ved Prakash İndeks değerlerinin ortalama 51.85 olduğu ve “Orta-İyi” su kalite sınıfına sahip olduğu görülmüştür. Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks (NSF-SKİ) değerlerinin ortalama 74.45 olduğu ve “İyi” su kalite sınıfına sahip olduğu görülmüştür. Ağırlıklı Aritmetik İndeks değerlerinin ortalama 64.83 olduğu “Kötü” kalite sınıfına sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Benue Nehri, Nijerya'nın Makurdi eyaletinde yer alan Nijer Nehri'nin ana kollarından biridir. Kondum vd. (2021) yaptığı çalışmada; Benue Nehri'nin su kalitesini Kanada Çevre Bakanlar Konseyi Su Kalite İndeksi (CCME-SKİ), British Colombia Su Kalite İndeksi (BC-SKİ), Dinius Su Kalite İndeksi ve Ağırlıklı Aritmetik Su Kalite İndeks (WA-SKİ) modelleri kullanılarak değerlendirmiştir. Çalışmada, Benue Nehri üzerinden 6 örnekleme noktasından 2018-2019 yılları arasında altı ay için (Aralık, Ocak, Mart, Temmuz, Ağustos ve Eylül), 10 adet su kalite parametresinin (Sıcaklık, pH, Bulanıklık, Toplam Çözünmüş Katılar, Elektriksel İletkenlik, Nitratlar, Fosfatlar, Biyokimyasal

Oksijen İhtiyacı, Çözünmüş Oksijen ve Fekal Koliform) analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, Benue Nehri'nin fizyo-kimyasal ve mikrobiyolojik risk limitlerini aştığı belirlenmiştir. Nehrin kuru ve yağışlı mevsimlerde evsel atıksu ve tarım alanlarından gelen fırtına akıntıları tarafından sürekli olarak kirlendiği tespit edilmiştir. Su Kalitesi İndeks modellerinin karşılaştırılmasında, Dinius SKİ ile diğer 3 indeks modelinin sınıflandırma sonuçlarında önemli tutarsızlıklar olduğu sonucuna varılmıştır. Kanada Çevre Bakanlar Konseyi Su Kalitesi İndeks (CCME-SKİ) modelinin Benue Nehri'ndeki su kalitesini değerlendirmek için en uygun yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Al-Mayah ve Mashaanabee (2018) çalışmasında Kanada Çevre Bakanlar Konseyi Su Kalitesi İndeks (CCME-SKİ) modeli kullanılarak Al-Gharraf Nehri'nin su kalitesini değerlendirmiştir. Çalışmada, Aralık 2016- Kasım 2017 arasında (dört mevsim) aylık su örnekleri alınmıştır. Alınan su örneklerinde 16 adet su kalite parametresinin analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, Al-Gharraf Nehri'nin genel yüzey suyu kalitesinin ileri arıtma yapılmadan içme suyu kullanımına uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, sulama suyu kullanımına da uygun olmadığı tespit edilmiştir.

İran'da bulunan Urmia gölünün ana kollarından olan Shahr Chai Nehri'nin su kalitesi Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi (NSF-SKİ), Minimum Su Kalite İndeks ($SKİ_{min}$) modeli ve Temel Bileşen Analizi (PCA) tekniği kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, Shahr Chai Nehri üzerinde bulunan 6 gözlem noktasından Aralık 2009 - Ocak 2011 arasında aylık su örnekleri alınmıştır. Alınan su örneklerinde 23 adet su kalite parametresi analiz edilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, Temel Bileşen Analizi (PCA) tekniği ve $SKİ_{min}$ kombinasyonunun, mekansal ve zamansal su kalitesi değişikliklerini tanımlayabileceğini göstermiştir. Azalan nehir akışlarının, artan kirlilik değerlerinin ve tarımsal drenaj sularının tükenmesinin, Shahr Chai nehrinin mansabında akış kalitesini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir (Zeinalzadeh ve Rezai 2017).

Padang'da bulunan 4 büyük nehir olan Kandis Nehri, Air Dingin Nehri, Kuranji Nehri ve Arau Nehri kentin önemli içme suyu kaynakları olup, balıkçılık, tarım ve su rekreasyonu amacıyla kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada; Kirlilik İndeksi (PI) ve Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks (NSF-SKİ) modelleri kullanılarak nehirlerin su kalitesi değerlendirilmiştir. 2015-2018 yılları arasında her nehir için 6 gözlem noktasından 12 adet su kalite parametresinin (toplam askıda katı madde, toplam çözünmüş katı madde, pH, çözünmüş oksijen, biyolojik oksijen ihtiyacı, amonyak, nitratlar, nitritler, toplam fosfatlar, fekal koliform, kimyasal oksijen ihtiyacı ve sıcaklık) analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda Kandis Nehri, Air Dingin Nehri, Kuranji Nehri ve Arau Nehri su kalitelerinin tüm istasyonlarda "Kötü" kalitede olduğu ve kullanım amaçlarına göre iyileştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır (Dewata 2019).

Peru’da bulunan Cunas Nehir Havza’sının su kalitesi, Dominguez Franco vd. (2021) tarafından Kanada Çevre Su Kalitesi İndeks (CCME-SKİ) modeli ve Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, Cunas Nehri’nin ana kolunda 27 (üst, orta ve alt kısım), yan kolunda ise 9 örnekleme noktasından 2 farklı mevsimde fiziko-kimyasal ve bakteriyolojik parametrelerin analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, Cunas Nehri’nin üst kesimlerindeki örnekleme noktalarının su kalitesinin “İyi” (87.07) kalite sınıfına sahip olduğu görülmüştür. Orta kesimlerindeki örnekleme noktalarının su kalitesinin “Orta” (67.65) ve alt kesimlerindeki örnekleme noktalarının su kalitesinin ise “Çok Kötü” (34.86) kalite sınıfında olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, yan koldaki örnekleme noktalarının su kalitesinin ise “İyi” (82.34) kalite sınıfına sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Romanya-Ukrayna sınırındaki Tuna Nehri’nin kuzey kolu olan Chilia kolunun su kalitesi, Teodorof vd. (2021) tarafından Kanada Çevre Su Kalitesi İndeks (CCME-SKİ) modeli kullanılarak değerlendirilmiştir. 2013-2019 yılları arasında 5 örnekleme noktasından 106 su örneği alınmıştır. Çalışmada, CBS teknikleri kullanarak çalışma alanındaki ölçüm veri setlerinin dağılım haritaları oluşturulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda; Kanada Çevre Su Kalite İndeks (CCME-SKİ) modeline göre Chilia kolundan gelen yüzey sularının % 39.93’ünün “Mükemmel” kalitede olduğu, % 45.45’inin “İyi” kalite olduğu ve yalnızca % 14.62’sinin “Orta” su kalite sınıfına sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Hindistan’da bulunan Yamuna Nehri’nin su kalitesinin değerlendirilmesi ve kirliliğe hassas alanların belirlenmesi için Kaur vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi Su Kalite İndeksi (CCME-SKİ), Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi (NSF-SKİ) ve hiyerarşik kümeleme analizi (HCA) kullanılmıştır. Çalışmada, nehirde kirliliğe hassas olan bölgelerin belirlenmesinde, su kalitesini etkileyen noktasal kaynaklı kirleticiler dikkate alınmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, noktasal kirlilik kaynağı olarak kentsel ve endüstriyel atıksu deşarjlarının olduğu tespit edilmiştir. CCME-SKİ ve NSF-SKİ sonuçları aralarında yüksek bir pozitif korelasyon göstermiştir. Her iki indeks modelinin de su kalitesinin değerlendirilmesi için aynı derecede önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Hindistan’daki Brahmaputra Nehri’nin su kirliliğini değerlendirmek için Barbulescu vd. (2021) Kanada Çevre Su Kalite İndeksi (CSKİ) , British Columbia Su Kalite İndeksi (BC-SKİ) ve Ağırlıklı Aritmetik Su Kalite İndeksi (WA-SKİ) modellerini kullanmıştır. Çalışmada, Brahmaputra Nehri üzerinde 10 izleme noktasından 2003-2019 arasında 17 yıl boyunca izleme çalışmaları yapılmıştır. İzleme yapılan noktalardan alınan örneklerde 8 adet su kalite parametresinin analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, Kanada Çevre Su Kalite İndeks (CSKİ) modeline göre su kalitesinin (S1, S2, S3 ve S8’de) “Orta” ve (diğer istasyonlarda) “Kötü” su kalite sınıfında olduğu görülmüştür. Su kalitesinin British Columbia Su Kalite İndeks (BC-SKİ) modeline göre “Orta” ve Ağırlıklı Aritmetik İndeks modeline göre ise “Kötü” ve “İyi” su kalite sınıfları

arasında değiştiği görülmüştür. Brahmaputra Nehri'nin su kalitesinin bozulmasına neden olan ana kirleticinin, yasal limitleri birçok kez aşan yüksek koliform konsantrasyonu olduğu tespit edilmiştir.

2.2. Çalışma Alanına Ait Literatürde Yer Alan Çalışmalar

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde Düden Çayı ve Düden Çayı Alt Havzası'nda yapılmış çok fazla akademik çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle çalışma alanı olarak Düden Çayı seçilmiş ve yapılan çalışmanın gelecekte yapılacak olan çalışmalara katkı sağlayacağı ve karar vericilere yol göstereceği düşünülmüştür.

Atilla ve Arıkan (2001) çalışmasında, Antalya Traverten Platosu yeraltısularına ait kimyasal ve çevresel izotop verilerini kümeleme ve faktör analiz yöntemleri kullanılarak değerlendirmiştir. Çalışma kapsamında, yeraltısularının benzerlik ve farklılıkları belirlenerek gruplandırmaları yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, Düdenbaşı'nın ve Varsak Düdeni'nin (Varsak Obruğu-Varsak Dolini-Varsak Kuru Düdeni) üst platosunda yer alan Kırkgöz kaynaklarıyla aynı kimyasal özelliklere sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Erdem (2002), Düden Çayı'nın su kalitesini incelemiş ve Akdeniz'e taşıdığı kirlilik yüklerinin mevsimsel değişimini belirlemeyi amaçlamıştır. Yapılan çalışmada, 4 istasyondan (Kırkgözler Kanalı, Düdenbaşı-Yukarı Düden Şelalesi, Koyunlar Regülatörü ve Aşağı Düden Şelalesi-Gençlik Parkı) Ocak 2001-Şubat 2002 tarihleri arasında her ay düzenli su örnekleri alınmıştır. Alınan su örnekleri analiz edilerek Düden Çayı'nın su kalitesi değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda Düden Çayı'nın herhangi bir organik kaynaklı kirliliğe maruz kalmadığı tespit edilmiştir. Kırkgözler Kanalı istasyonunun nitrit azotu açısından önemli bir kaynak teşkil ettiği ve bu bölgede bulunan tarımsal alanlardan taşınan azot yükünün yağışların etkisi ile artış sağladığı kanısına varılmıştır. Çalışma alanında yüksek miktarda fosfor konsantrasyonları tespit edilmiştir. Kırkgözler kaynağının Kasım ve Aralık aylarında diğer istasyonlara nazaran toplam koliform sayısında farklılıklar gösterdiği belirlenmiş olup bu duruma bölgedeki yapılaşmanın sebebiyet verdiği sonucuna varılmıştır. Düden Çayı'nın mevsimsel kirlilik yükleri belirlenmiş ve Akdeniz'e önemli miktarda bitki besin maddesi, katı madde ve koliform bakteri taşındığı sonucuna varılmıştır.

İçemer (2005), tarafından yapılan çalışmada Antalya kıyılarında deniz suyu kalitesini etkileyen faktörler ve aşırı mikroalg üremeleri incelenmiştir. Antalya Körfezi kıyılarından bir yıl boyunca 5 istasyondan (4 tane deniz ve 1 tane Düden Çayı istasyonu) aylık fiziksel, biyokimyasal ve biyolojik parametrelerin zamansal ve alansal değişkenliğini belirleyebilmek için sahada ölçümleri ve laboratuvarında analizleri yapılmıştır. Kıyıya yakın alanlarda yüzey sularının organik karbon azot oranı, karbon klorofil a oranı ve inorganik azot fosfor oranlarının yüksek olduğu belirtilmiştir. Fosfor yükünün azaltılarak ekosistemin sağlığının korunması gerektiği belirtilmiştir. Çalışma

sonucunda Antalya için önemli karasal kirletici kaynaklardan olan Düden Çayı'nın kış aylarında yüksek debisiyle büyük miktarda partikül organik madde, yaz aylarında ise mikrobiyolojik kirlilik yükü taşıdığı belirtilmiştir. Düden Çayı ile kıyı bölgesine büyük oranda koliform bakteri taşındığı belirlenmiştir. Düden Çayı'nın ıslah edilerek rekreasyonel amaçlı kullanılması önerilmiştir.

Dipova ve Yıldırım (2005), yapmış oldukları çalışmada Antalya Tufa Platolarının oluşumunu ve jeomorfolojik özelliklerini incelemiştir. Düden'in çökelim sisteminin çağlayan tipi olduğu belirtilmiştir. Denize dökülen yerde Düden Çayı'nın düşey perde çökelim yapıları görülmektedir. Düden Çayı yatağının örgülü nehir sistemi hakim olup, yatak düzenlemeleri yapılarak sürekli değişimler gösterdiği tespit edilmiştir. Yatak yapısı menderesli ve örgülü nehir çökelleri oluşturmuş ve Falezlerden çağlayanlar şeklinde denize döküldüğü belirtilmiştir. Düden platosu 19. Yüzyılın sonlarında Düden Çayı'nın yatak düzenlemesi ile düzensiz akmış ve menderesli nehir sisteminde tufa çökeliği gerçekleşmiştir. İmara açılan alanlar nedeni ile Düden Çayı'nın görünümünü değiştirdiği sonucuna varılmıştır.

Vuruşkan ve Ortaçesme (2009) çalışmasında Antalya kentsel alanı içerisinde yer alan doğal sit alanlarının sorunları ve yaşanan sıkıntıların belirlenmesini amaçlamıştır. Düden Çayı'nın 16.12.1992 tarih ve 1670 sayılı olur ile I. Derece doğal sit alanı, Düden Şelalesi Başlangıcı ve Çevresinin ise 24.02.1993 tarih ve 1777 olur ile I. Derece Doğal ve Arkeolojik sit alanları arasında olduğu çalışmada belirtilmiştir. Düden Çayı ve Düden Şelalesi başlangıcı doğal sit alanları incelendiğinde, çevresinde oluşan hızlı yapılaşmadan kaynaklı baskılar, rekreasyonel kullanımdan kaynaklanan baskılar ve çöp sorunları gözlemlenmiştir. Antalya turizm bölgesi olduğu için Düden Çayı ve Düden Şelalesi ziyaret talebi yüksek olan doğal sit alanları arasındadır. Bu kapsamda yoğun kullanım baskısı altında olduğu belirtilmiştir. Doğal sit alanlarının korunması ve mevcut sorunlarının çözülmesi açısından çözüm önerileri belirtilmiştir.

Saphioğlu vd. (2016), yapmış olduğu çalışmada Karpuz Çayı, Düden Çayı ve Kurşunlu Şelale'sinin su kalite verilerini kullanarak su kalitesindeki değişimleri trend analiz yöntemleri ile değerlendirmiştir. Çalışmada, Mann-Kendall trend analizi, Eğilim testi, ve Şen Grafik testleri kullanılmıştır. Şen Grafik testini baz alarak oluşturulmuş istatistiksel analiz ile trendler ölçülmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında 1990-2015 yılları arasında su sertliği, pH, Na, ve sülfat parametrelerinin trendleri incelenmiştir. Bu çalışmada elde edilen trend sonuçlarına bakılarak 100 yıl sonunda oluşacak yeni su sınıfları belirlenmeye çalışılmıştır. Düden Çayı Şen Grafik Testi sonuçlarına göre Na ve pH değerlerinin artış gösterdiği, su sertliği değerlerinde azalış ve SO₄ değerlerinde genel olarak küçük değerlerde azalma, yüksek değerlerde ise trendin olmadığı gözlemlenmiştir. Tüm trend analizlerinin birbiriyle uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Trend analizleri verilerine göre 100 yıllık periyotta pH değerinin ortalama 9'un üzerinde olacağı öngörüsüne ulaşılmıştır.

Leventeli vd. (2019), yapmış olduğu çalışmada Düden ve Göksu Çay'larındaki Ağır Metal konsantrasyonlarını incelemiştir. Düden Çayı'ndan 24 adet ve Göksu Çayı'ndan 18 adet su örneği Haziran 2018'de sistematik olarak alınmış ve Ağır Metal Kirlilik İndeksi(HPI) kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en yüksekten en düşüğe doğru ağır metal konsantrasyonlarının; $Sr > Fe > Al > Mn > As > Ni > Cu > Pb > Cr > Se$ ve Göksu Çayı'nda ise $Sr > Fe > Al > Ni > As > Cu > Mn > Pb > Cr > Se$ olduğu tespit edilmiştir. Sr ve Al değerlerinin Düden ve Göksu Çay'ları içinde izin verilen standart değerleri aştığı, diğer ağır metallerin ise izin verilen standart değerlerin altında kaldığı gözlemlenmiştir. Özellikle D15 - D19 - D20 ve G13 numunelerinin su kalitesinin standartlara göre "Çok Kötü" kalitede olduğu belirlenmiştir. Düden ve Göksu Çay'larının ağır metal konsantrasyonu bakımından riskli kategoride olduğu belirtilmiştir. Yüksek ağır metal konsantrasyonlarından ötürü içme suyu olarak kullanılmasının sakıncalı olduğu sonucuna varılmıştır.

Yapılan bilimsel çalışmalar incelendiğinde, Akdeniz ve Antalya için oldukça önemli olan Düden Çayı'nda SKİ modelleri kullanılarak su kalitesinin değerlendirildiği bilimsel bir çalışmanın yapılmadığı ve bu noktada bir eksikliğin olduğu görülmüş olup bu eksikliğin giderilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma, gelecekte Antalya ili için içme suyu kaynağı olma potansiyeli yüksek olan Düden Çayı'nın korunması ve çevresel hedeflere ulaşılabilmesi açısından oldukça önemlidir.

2.3. Çalışmada Kullanılan Yönetmelikler

Çalışma kapsamında Ocak 2001-Şubat 2002 ve Ocak 2021-Şubat 2022 periyotları arasında yapılmış izleme çalışmaları sonuçları kullanılarak Düden Çayı su kalitesinin genel değerlendirilmesi amacıyla Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nden faydalanılmıştır.

10.08.2016 tarih ve 29797 sayılı RG'de yayımlanan Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği Yerüstü sular ile kıyı ve geçiş sularının biyolojik, kimyasal, fiziko-kimyasal ve hidromorfolojik kalitelerinin belirlenmesi, sınıflandırılması, su kalitesinin ve miktarının izlenmesi, bu suların kullanım maksatlarının sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde koruma kullanma dengesi de gözetilerek ortaya konulması, korunması ve iyi su durumuna ulaşılması için alınacak tedbirlere yönelik usul ve esasların belirlenmesini amaçlamaktadır. 16.06.2021 tarih ve 31513 sayılı RG'de yayımlanan Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde yapılan son değişiklikle "Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik" adıyla 4 üncü maddesinin birinci fıkrasının (r) bendi değiştirilerek yayımlanmıştır. Yönetmeliğin Ek-5 (Yerüstü Su Kütlelerinde Bazı Parametreler İçin Çevresel Kalite Standartları ve Kullanım Maksatları) Tablo 2'de "Kıta içi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizikokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri" (Değişik:RG-16/6/2021-31513) verilmektedir (Çizelge 2.1). Bu tabloya göre su kalitesi üç sınıfta değerlendirilmiştir. Buna göre su kalite sınıfı çok iyi, iyi ve orta olarak 3 sınıf ölçeğinde değerlendirilmektedir. Kalite sınıfları için kullanılan renk kodları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kıta içi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizikokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri YSKY 2021

Su Kalite Parametreleri	Su Kalite Sınıfları ^(a)		
	I (çok iyi)	II (iyi)	III (orta)
Renk (m^{-1})	RES 436 nm: ≤ 1.5 RES 525 nm: ≤ 1.2 RES 620 nm: ≤ 0.8	RES 436 nm: 3 RES 525 nm: 2.4 RES 620 nm: 1.7	RES 436 nm: > 4.3 RES 525 nm: > 3.7 RES 620 nm: 2.5
pH	6-9	6-9	6-9
İletkenlik ($\mu S/cm$)	< 400	1000	> 1000
Yağ ve Gres (mg/L)	< 0.2	0.3	> 0.3
Çözünmüş oksijen (mg/L)	> 8	6	< 6
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) (mg/L)	< 25	50	> 50
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ ₅) (mg/L)	< 4	8	> 8
Amonyum azotu ($mg NH_4^+-N/L$)	< 0.2	1	> 1
Nitrat azotu ($mg NO_3^--N/L$)	< 3	10	> 10
Toplam kjeldahl-azotu ($mg N/L$) ^(b)	< 0.5	1.5	> 1.5
Toplam azot ($mg N/L$) ^(c)	< 3.5	11.5	> 11.5
Orto fosfat fosforu ($mg o-PO_4-P/L$)	< 0.05	0.16	> 0.16
Toplam fosfor ($mg P/L$)	< 0.08	0.2	> 0.2
Florür ($\mu g/L$)	≤ 1000	1500	> 1500
Mangan ($\mu g/L$)	≤ 100	500	> 500
Selenyum ($\mu g/L$)	≤ 10	15	> 15
Sülfür ($\mu g/L$)	≤ 2	5	> 5

Çizelge 2.2 Su Kalite Sınıfı Renk Kodları YSKY 2021

Su Kalitesi	Renk
Sınıf I	Mavi
Sınıf II	Yeşil
Sınıf III	Sarı

Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde kalite sınıflarına göre suların kullanım maksatları şu şekilde tanımlanmıştır:

I. Sınıf - Yüksek kaliteli su (I. sınıf su kalitesinde olması “Çok İyi” su durumunu ifade etmektedir);

1. İçme suyu olma potansiyeli yüksek olan yerüstü suları,
2. Yüzme gibi vücut teması gerektirenler dâhil rekreasyonel maksatlar için kullanılabilir su,
3. Alabalık üretimi için kullanılabilir nitelikte su,
4. Hayvan üretimi ve çiftlik ihtiyacı için kullanılabilir nitelikte su.

II. Sınıf - Az kirlenmiş su (II. sınıf su kalitesinde olması “İyi” su durumunu ifade etmektedir);

1. İçme suyu olma potansiyeli olan yerüstü suları,
2. Rekreasyonel maksatlar için kullanılabilir nitelikte su,
3. Alabalık dışında balık üretimi için kullanılabilir nitelikte su,
4. Mer'i mevzuat ile tespit edilmiş olan sulama suyu kalite kriterlerini sağlamak şartıyla sulama suyu.

III. Sınıf - Kirlenmiş su (III. sınıf su kalitesinde olması “Orta” su durumunu ifade etmektedir); Gıda, tekstil gibi nitelikli su gerektiren tesisler hariç olmak üzere, uygun bir arıtmadan sonra su ürünleri yetiştiriciliği için kullanılabilir nitelikte su ve sanayi suyunu ifade etmektedir.

31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı RG'de yayımlanarak yürürlüğe giren “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği”, Ülkenin yeraltı ve yerüstü su kaynakları potansiyelinin korunması ve en iyi bir biçimde kullanımının sağlanması için, su kirlenmesinin önlenmesini sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde gerçekleştirmek üzere gerekli olan hukuki ve teknik esasları belirlemeyi amaçlamaktadır. Yönetmelik su ortamlarının kalite sınıflandırmaları ve kullanım amaçlarını, su kalitesinin korunmasına ilişkin planlama esasları ve yasaklarını, atıksuların boşaltım ilkelerini ve boşaltım izni esaslarını, atıksu altyapı tesisleri ile ilgili esasları ve su kirliliğinin önlenmesi amacıyla yapılacak izleme ve denetleme usul ve esaslarını kapsamaktadır. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) Kıtaîçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri Çizelge 2.3'de verilmektedir.

Çizelge 2.3 Kıta içi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri (Değişik Tablo 1:Rg-13/2/2008-26786)

A) Fiziksel ve inorganik- kimyasal parametreler	I	II	III	IV
SICAKLIK (°C)	25	25	30	>30
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0-9.0	6.0-9.0 dışında
ÇO (mg O ₂ /L)	8	6	3	<3
OKSİJEN DOYGUNLUĞU(%)	90	70	40	<40
KLORÜR İYONU (mg Cl ⁻ /L)	25	200	400b	>400
SÜLFAT İYONU (mg SO ₄ =/L)	200	200	400	>400
AMONYUM AZOTU (mg NH ₄ ⁺ -N/L)	0.2c	1c	2c	>2
NİTRİT AZOTU (mg NO ₂ ⁻ -N/L)	0.002	0.01	0.05	>0.05
NİTRAT AZOTU (mg NO ₃ ⁻ -N/L)	5	10	20	>20
TOPLAM FOSFOR (mg P/L)	0.02	0.16	0.65	>0.65
TOPLAM ÇÖZÜNMÜŞ MADDE (mg/L)	500	1500	5000	>5000
RENK (Pt-Co birimi)	5	50	300	>300
SODYUM (mg Na ⁺ /L)	125	125	250	>250
B) Organik parametreler				
KOİ (mg/L)	25	50	70	>70
BOİ (mg/L)	4	8	20	>20
TOPLAM ORGANİK KARBON (mg/L)	5	8	12	>12
TOPLAM KJELDAHL-AZOTU (mg/L)	0.5	1.5	5	>5
METİLEN MAVİSİ İLE REAKSİYON VEREN YÜZEY AKTİF MADDELERİ (MBAS) (mg/L)	0,05	0.2	1	>1.5
YAĞ VE GRES (mg/L)	0.02	0.3	0.5	>0.5
FENOLİK MADDELER (mg/L)	0.002	0.01	0.1	>0.1
MİNERAL YAĞLAR VE TÜREVLERİ (mg/L)	0.02	0.1	0.5	>0.5
TOPLAM PESTİSİT (mg/L)	0.001	0.01	0.1	>0.1

Çizelge 2.3'ün devamı

C) İnorganik kirlenme parametreleri				
CİVA (µg Hg/L)	0.1	0.5	2	>2
KADMİNYUM (µg Cd/L)	3	5	10	> 10
KURŞUN (µg Pb/L)	10	20	50	> 50
ARSENİK (µg As/L)	20	50	100	> 100
BAKIR (µg Cu/L)	20	50	200	> 200
KROM (toplam) (µg Cr/L)	20	50	200	> 200
KROM (µg Cr ⁺⁶ /L)	ölçülmeyecek kadar az	20	50	> 50
KOBALT (µg Co/L)	10	20	200	>200
NİKEL (µg Ni/L)	20	50	200	>200
ÇİNKO (µg Zn/L)	200	500	2000	>2000
SİYANÜR(toplam) (µg CN/L)	10	50	100	>100
FLORÜR (µg F ⁻ /L)	1000	1500	2000	>2000
SERBEST KLOR (µg Cl ₂ /L)	10	10	50	>50
SÜLFÜR (µg S ⁻ /L)	2	2	10	>10
DEMİR (µg Fe/L)	300	1000	5000	> 5000
MANGAN (µg Mn/L)	100	500	3000	> 3000
BOR(µg B/L)	1000e	1000e	1000e	>1000
SELENYUM (µg Se/L)	10	10	2	> 20
BARYUM (µg Ba/L)	1000	2000	2000	>2000
ALÜMİNYUM (mg Al/L)	0.3	0.3	1	> 1
RADYOAKTİVİTE (Bq/L)				
ALFA_AKTİVİTESİ	0.5	5	5	> 5
BETA_AKTİVİTESİ	1	10	10	> 10
D) Bakteriyolojik parametreler				
FEKAL KOLİFORM (EMS/100 mL)	10	200	2000	>2000
TOPLAM KOLİFORM (EMS/100 mL)	100	20000	100000	> 100000
(a) Konsantrasyon veya doygunluk yüzdesi parametrelerinden sadece birisinin sağlanması yeterlidir. (b) Klorüre karşı hassas bitkilerin sulanmasında bu konsantrasyon limitini düşürmek gerekebilir. (c) pH değerine bağlı olarak serbest amonyak azotu konsantrasyonu 0.02mg NH₃-N/L değerini geçmemelidir. (d) Bu gruptaki kriterler parametreleri oluşturan kimyasal türlerin toplam konsantrasyonlarını vermektedir. (e) Bora karşı hassas bitkilerin sulanmasında kriteri 300 µg/L'ye kadar düşürmek gerekebilir.				

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Çalışma Alanı

Antalya Havzası, Türkiye’de bulunan 25 havza arasında yer almaktadır. Toplam yüzölçümü 20 331 km² olan Antalya Havzası, Türkiye yüzölçümünün % 2.6’sını oluşturmaktadır. Antalya Havzası, Türkiye'nin Akdeniz coğrafi bölgesinde, Doğu Akdeniz ve Batı Akdeniz havzaları arasında yer almaktadır. Havza, güneyde Antalya Körfezi, kuzeyde Sultan dağları, doğuda Alanya ilçesi ve Toros dağları, batıda Beydağları ve Katrancık dağları ile çevrilidir. Havza sınırları içerisinde yer alan iller; Antalya, Isparta ve Burdur ilidir (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2016). Antalya Havzası’nın konumu Şekil 3.1’de gösterilmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı). Havza, Akdeniz iklimine hakim olup genel olarak yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. Antalya Bölge 17302 numaralı istasyondan alınan meteorolojik veriler Çizelge 3.1’de verilmektedir. Ölçüm verileri incelendiğinde en yüksek sıcaklık Temmuz ayında ölçülen 45.4 °C iken en düşük sıcaklık Şubat ayında -2.2°C’dir. Aynı periyoda ait aylık toplam yağış miktarı ortalaması incelendiğinde en yüksek değerin 205.1 mm ile Ocak ayında ve en düşük değerin ise 2.5 mm Temmuz ayında ölçüldüğü görülmektedir (MGM 2023). İç kesimlerinde yüksekliğe bağlı olarak iklim özelliklerinde farklılıklar oluşmaktadır. Antalya ili sahil kesimlerinde yaz mevsiminde sıcaklık ortalamaları yaklaşık 28.2 °C iken, iç kesimlerde bu sıcaklık 5 °C daha düşebilmektedir. Kış mevsiminde ise sahil kesimlerinde sıcaklık ortalaması 9.9 °C olurken iç kısımlardaki sıcaklık ortalaması 0.5 °C’ye kadar düşmektedir (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2016).

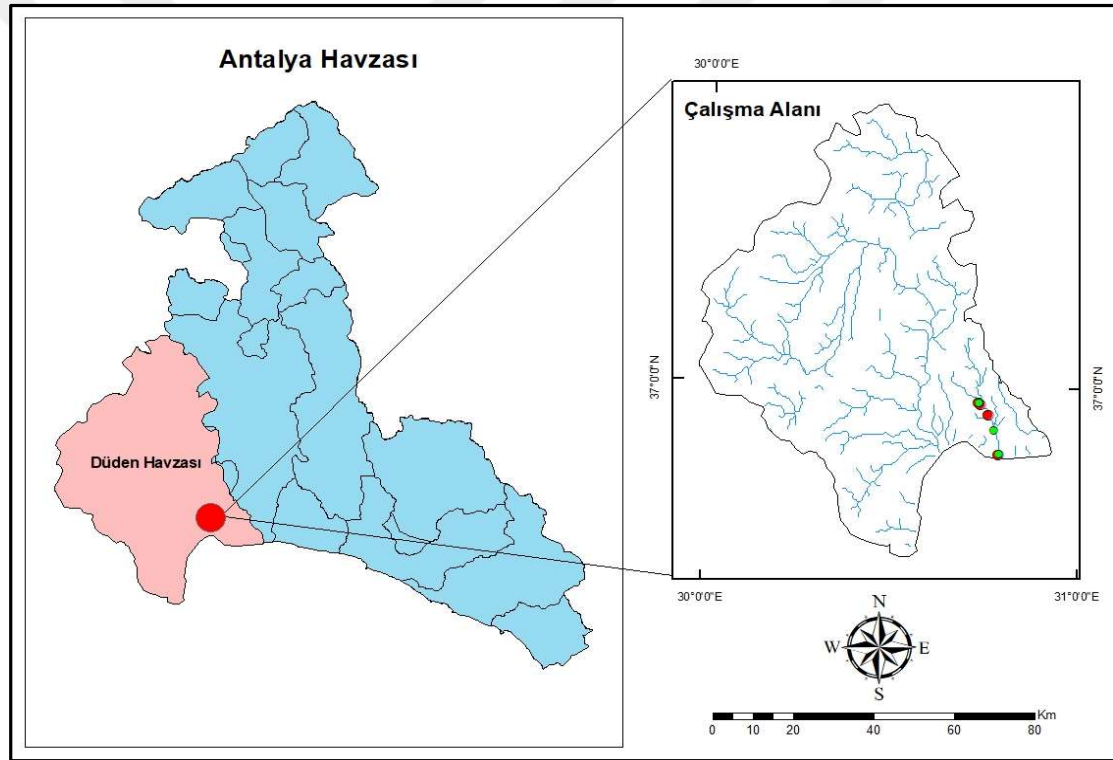


Şekil 3.1. Türkiye Havzaları (Tarım ve Orman Bakanlığı)

Çizelge 3.1. Antalya Bölge 17302 numaralı istasyondan alınan meteorolojik veriler (MGM 2023)

ANTALYA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortalama Sıcaklık (°C)	11.5	12.4	14.6	17.4	21.5	25.7	29.2	29.5	26.4	22.3	17.3	13.2
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	18.6	19.4	21.1	24.0	28.0	32.1	36.5	36.1	33.3	28.2	23.9	19.4
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	7.0	6.4	7.8	12.5	16.9	20.7	24.2	24.6	20.9	16.4	11.6	8.2
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	104.5	101.7	126.3	129.7	129.3	152.0	140.1	133.2	134.8	127.3	98.9	83.3
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.6	10.3	8.9	6.9	6.3	3.7	0.8	0.9	2.8	6.0	6.9	9.9
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	205.1	113.2	73.8	37.3	39.6	10.3	2.5	6.3	25.8	66.8	75.3	176.4
En Yüksek Sıcaklık (°C)	22.1	26.2	30.7	35.7	40.2	44.8	45.4	44.2	41.8	40.4	32.0	26.1
En Düşük Sıcaklık (°C)	-0.4	-2.2	0.0	7.4	12.7	15.8	20.2	20.9	16.2	0.9	5.0	2.1
Aylık Toplam Açık Yüzey Buharlaşma (mm)	56.6	61.8	86.0	98.2	110.3	129.5	161.0	159.6	135.5	103.6	76.4	52.0

Çalışma alanı olan Düden Çayı ve havzası, Antalya Havzası içinde yer almaktadır (Şekil 3.4). Antalya Havzası'nın alt havzalarından birini oluşturmaktadır. Düden Çayı Havza sınırını, batıda Boğaçay, doğuda Aksu Çayı ve güneyde ise Lara'dan Akdeniz'e boşalan Düden Çayı oluşturmaktadır. Düden Çayı, Düdenbaşı olarak adlandırılan 15 km uzunluğundaki ırmak ile Kırkgözler-Düden adını alan büyük bir yeraltı ve yerüstü karstik su sisteminin son bölümü olarak adlandırılmaktadır. Düden Çayı, Kırkgözler kaynağından yüzeye çıkan su regülatör yardımıyla iki ayrı kanaldan akmaktadır. Bu kanallar, Döşemealtı ilçesinin tarımsal sulamasında kullanılan Evkaf Kanalı ve Kırkgöz kanalıdır. 1959 yılında yapılan Hidroelektrik Santrali aracılığıyla Kırkgöz kaynağından alınan su Kepez'den, Varsak Düdenbaşı'na iletilmektedir. Düden Çayı'nı besleyen ana kaynak olan Kırkgöz pınarları, Antalya ilinin en önemli su kaynaklarından biridir (Erdem 2002; Antalya Kent Konseyi Yürütme Kurulu 2021; T.C. Antalya Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü 2020).



Şekil 3.4. Düden Çayı Havzası

Düden Çayı'nı besleyen birçok kaynak bulunmaktadır. Bu kaynaklardan biri de Bıyıklı Düdenidir. Bıyıklı düdenindeki suların yeraltına geçmesi ile Varsak dolinine (bulunduğu bölgenin karstik özelliklerine bağlı olarak boyutları değişen çukurlar) ulaştığı ve buradan Düden çayına karıştığı bilinmektedir (Antalya Kent Konseyi Yürütme Kurulu 2021). Antalya şehir merkezine yaklaşık olarak 10 km uzaklıkta olan Düden Şelalesi, iki kola (Aşağı Düden ve Yukarı Düden Şelalesi) ayrılmaktadır. Bu iki koldan gelen sular Baraj Mahallesi'nde bulunan DSİ regülatörü yardımıyla su seviyesi yükseltilecek sulama

kanallarına verilmektedir. Düden Çayı'ndan gelen sular daha sonra tarihi Cırnık Köprüsünden geçmektedir. Cırnık Köprüsünden akan sular 1892 yılında yöredeki taşkınları önlemek amacıyla Kasser Paşa tarafından yaptırılan bir kanal yardımıyla Lara'ya kadar ulaşarak Akdeniz'e dökülmektedir (Erdem 2002; Antalya Kent Konseyi Yürütme Kurulu 2021; T.C. Antalya Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü 2016).

Kültür turizmi başta olmak üzere deniz, spor, sağlık, kış, kongre, yayla, mağara, kamp gibi birçok seçeneğe sahip olan Antalya iline ait doğal varlıklar arasında yer alan ve sit alanı olarak koruma altına alınan Düden Şelalesi ve Çayı kentin en önemli varlıklarındandır. Düden Çayı; “*Kepez ve Muratpaşa ilçe sınırları içerisinde yer alan “Düden Şelalesi ve Çayı Doğal Sit Alanı”nın koruma statüsünün tescili “Düden Şelalesi ve Çayı Nitelikli Doğal Koruma Alanı (NDKA)” olarak (Şekil 3.5) Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’nın 02.07.2020 tarih ve 138418 sayılı oluru ile onaylanmış olup 05.08.2020 tarih ve 31204 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir*” (Antalya Kent Konseyi Yürütme Kurulu 2021).

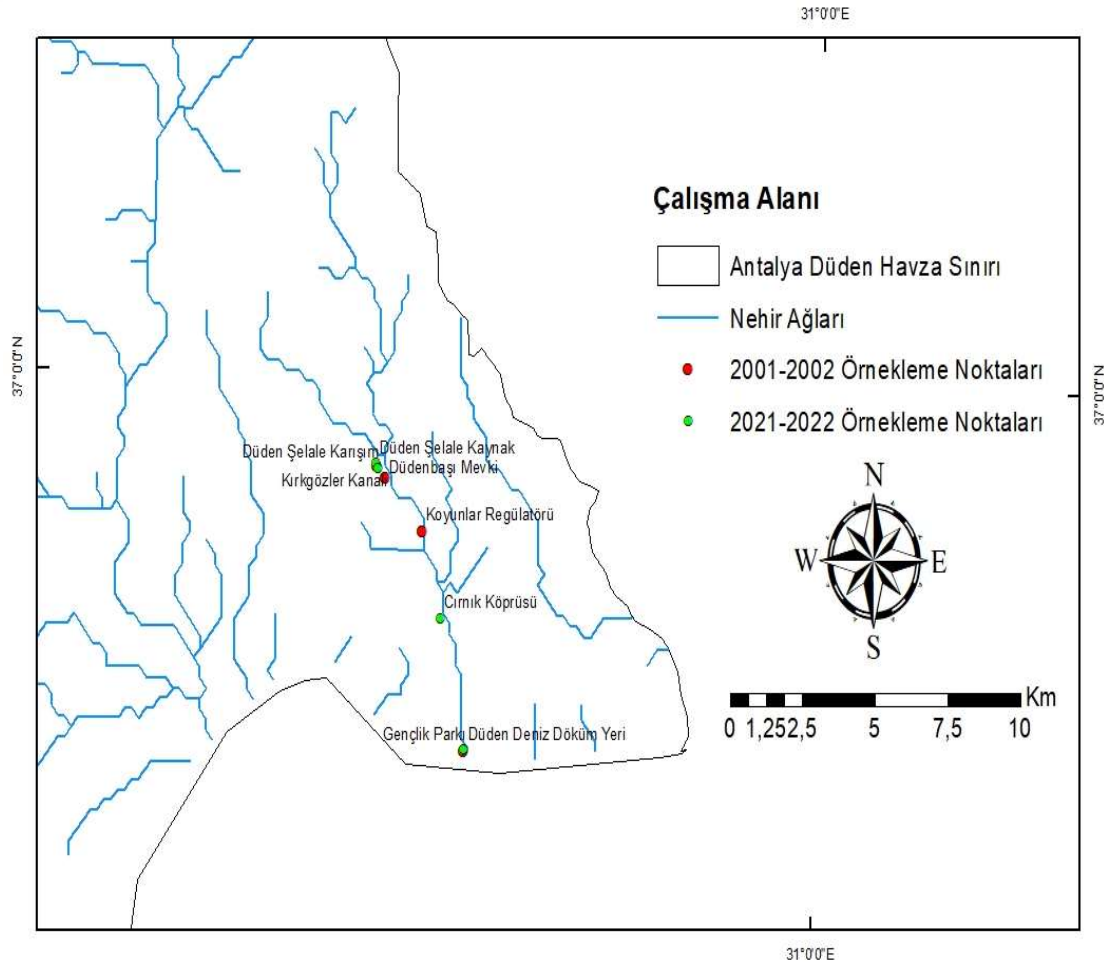


Şekil 3.5. Düden Çayı Nitelikli Doğal Koruma Alanı haritası (Antalya Kent Konseyi Yürütme Kurulu 2021) (Yeşil renk: Nitelikli Doğal Koruma Alanı (NDKA), Kırmızı renk: Kesin Korunacak Hassas Alan)

Bu çalışmada SKİ modellerinin hesaplamasında kullanılan veriler, Erdem (2002) tarafından yapılan çalışmadan ve Antalya Büyükşehir Belediyesi Su ve Atıksu İdaresi Genel Müdürlüğü’nden alınmıştır. Şekil 3.6’da çalışmada kullanılan Düden Çayı izleme istasyonlarının gösterildiği harita verilmiştir. Çalışma alanı boyunca çeşitli noktalardan alınan görseller ise Şekil 3.7 - 3.12’de verilmiştir. Erdem (2002) tarafından Düden Çayı

üzerinde bulunan 4 gözlem noktasından Ocak 2001- Şubat 2002 tarihleri arasında (14 ay) numune alınarak, Sıcaklık, pH, Çözünmüş Oksijen, Çözünmüş Oksijen Doygunluğu, Elektriksel İletkenlik, Tuzluluk, Bulanıklık, Toplam Katı Madde, AKM, ÇKM, BOİ₅, KOİ₅, Toplam Azot, Nitrat Azotu, Nitrit Azotu, Toplam Fosfor, Ortofosfat, Toplam Koliform, Fekal Koliform ve Fekal Streptokok parametrelerinin analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada Erdem (2002) tarafından yapılan çalışmadan alınan su kalitesi verileri, kullanılarak Düden Çayı'nın 2001-2002 yılları arasındaki su kalitesi değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan verilerin alındığı örnekleme noktalarına ait bilgiler Çizelge 3.2' de verilmiştir.

Antalya Büyükşehir Belediyesi Su ve Atıksu İdaresi Genel Müdürlüğü'nden alınan su kalitesi verileri (fiziksel, kimyasal ve biyolojik) kullanılarak Ocak 2021- Şubat 2022 tarihleri arasındaki Düden Çayı'nın su kalitesi değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan verilerin alındığı örnekleme noktalarına ait bilgiler Çizelge 3.3' de verilmiştir.



Şekil 3.6. Düden Çayı izleme istasyonlarının haritası

Çizelge 3.2. Düden Çayı izleme istasyonlarına ait bilgiler (Erdem, 2002)

Nokta	Enlem	Boylam	Açıklama
1. İstasyon	36.964.878	30.725.747	Kırkgözler Kanalı
2. İstasyon	36.959.861	30.731.164	Düdenbaşı Mevki
3. İstasyon	36.938.700	30.754.931	Koyunlar Regülatörü
4. İstasyon	36.851.189	30.783.289	Gençlik Parkı

Çizelge 3.3. Düden Çayı izleme istasyonlarına ait bilgiler (ASAT, 2021-2022)

Nokta	Enlem	Boylam	Açıklama
1. İstasyon	36.965.615	30.725499	Düden Şelale Kaynak
2. İstasyon	36.963.716	30.726.676	Düden Şelale Karışım
3. İstasyon	36.903.873	30.767.010	Cırnık Köprüsü
4. İstasyon	36.851.410	30.783.182	Düden Şelale Deniz Döküm Yeri

**Şekil 3.7.** Kırkgöz Pınarlarında gözlenen kirliliklerden çeşitli görüntüler (Antalya Kent Konseyi Yürütme Kurulu 2021)



Şekil 3.8. Düden Çayı kanalının geçtiği yerlerden çeşitli görüntüler (Orijinal)



Şekil 3.9. Düden Çayı kanal boyundan görüntüler (Orijinal)



Şekil 3.10. Düden Cırnık Köprüsünden görüntü (Orijinal)



Şekil 3.11. Düden Çayı Lara yakınlarından görüntüler (Orijinal)



Şekil 3.12. Düden Şelalesi deniz döküm noktası (Orijinal)

3.1.1.Düden Çayı Havzasındaki Baskı Unsurları

Düden Çayı'nın tamamı Döşemealtı, Kepez ve Muratpaşa ilçelerinden geçerek deniz turizmi açısından oldukça önemli olan Akdeniz'e boşalmaktadır. Akdeniz'e taşıdığı kirlilik yükü nedeniyle Düden Çayı'nın su kalitesinin korunması ve iyileştirilmesi oldukça önemlidir. Döşemealtı, Kepez ve Muratpaşa ilçeleri Antalya nüfusunun % 45'lik kısmını oluşturmaktadır. Antalya il ve ilçelere (Döşemealtı, Kepez ve Muratpaşa) göre 2022 nüfus verileri ve yıllık nüfus artış hızları Çizelge 3.4'te verilmektedir. Hızla artan nüfusla birlikte bölgede yapılan tarımsal faaliyetler, seracılık, sanayileşme, evsel ve endüstriyel atıklar Düden Çayı üzerinde yoğun baskıya neden olmaktadır. TÜİK verilerine göre Antalya ilinin Döşemealtı, Kepez ve Muratpaşa ilçelerine ait faaliyette olan tarımsal alanlar ve örtülü tarım alanları Çizelge 3.5'te verilmektedir. İlçeler arasında en fazla tarımsal alana Döşemealtı ilçesi (107239.0 dekar) sahip iken örtülü tarım alanında ise Kepez ilçesi (18299.6 dekar) en fazla faaliyet göstermektedir. Bölgede tarımsal faaliyetlerde tarım bitkileri, sebze ve meyve üreticiliği yapılmaktadır. Tarım faaliyetlerinde bitkisel zararlıları yok etmede kullanılan kimyasallar, toprağa verilen mineraller, pestisitler ve gübrelerin yoğun kullanımı yüzey ve yeraltısularının kirlenmesine, su kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Düdenler, yeraltısularının besleniminde önemli doğal yapılardır. Aynı zamanda yeraltına doğrudan kirlilik taşıma özelliğine sahiptir. Kentsel ve tarımsal alanlardan gelen atıksuların doğrudan yeraltına verilmesi veya yağmur sularıyla yeraltına kirlleticilerin taşınması söz konusudur. Bu durum, kirleticilerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik ayrışma olmadan doğrudan yeraltına

taşınmasına neden olmaktadır. Yeraltısuyu kalitesindeki bozulmaların düdenler ile beslenen Düden Çayı su kalitesini de etkilemesi olasıdır.

Havzada çeşitli hayvancılık (büyük ve küçükbaş, kanatlı kümes hayvanları yetiştiriciliği) faaliyetleri yapılmaktadır. Oluşan hayvansal gübre ve atıkların depolandıkları alanların sızdırmaz korumalı olmamasından kaynaklı azotun su kaynaklarımıza taşınması ve kirlilik oluşturmaya olasıdır. Hayvancılık ve tarımsal faaliyetler sonucu oluşan nitrat kirliliği havzanın önemli sorunlarından birini oluşturabilmektedir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı 2018; Antalya Kent Konseyi Yürütme Kurulu 2021; T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı 2016).

Çizelge 3.4. Antalya il ve ilçelere göre 2022 nüfus verileri ve yıllık nüfus artış hızı, (TÜİK 2023)

İLÇE	NÜFUS	Yıllık nüfus artış hızı (%)
Döşemealtı	79 495 kişi	74.2
Kepez	608 675 kişi	28.0
Muratpaşa	526 293 kişi	9.8
ANTALYA	2 688 004 kişi	25.7

Çizelge 3.5. Antalya ilçelerine ait tarım ve örtülü tarım alanları (TÜİK 2023)

İLÇE	TARIM ALANI	ÖRTÜLÜ TARIM ALANI
Döşemealtı	107239.0 dekar	151.0 dekar
Kepez	80862.0 dekar	18299.6 dekar
Muratpaşa	4201.0 dekar	3008.0 dekar

Kentsel atıksular, yerleşim yerlerinde kanalizasyon altyapıları yapılarak ve kanalizasyon altyapılarının yapılmasının mümkün olmadığı yerlerde ise sızdırmaz fosseptikler ile su kaynaklarımızın kirlenmesine engel olacak şekilde yönetilmelidir. Fakat Düden Çayı Alt Havzası'nda imar barışı kapsamında ruhsatsız inşası yapılan ve altyapısı tamamlanmayan atıksu bertarafı tespit edilememiş yerlerin mevcut olması ve buna bağlı olarak atıksu deşarjlarından kaynaklı su kaynaklarının kirlenmesi söz konusudur.

Döşemealtı ilçesinde küçük ve orta ölçekli zeytin ve zeytinyağı işleme tesisleri bulunmaktadır. Zeytin ve zeytinyağı üretiminde pirina ve karasu ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan pirinanın geri dönüşümü yapılarak (yakılarak, gübre olarak kullanarak vb.) ekonomimize katkı sağlamaktadır. Fakat üretimde oluşan karasuyun bertarafı epeyce zor olan atıksu, önemli bir çevre kirliliği etkeni haline gelmektedir. Karasuyun bertaraf edilmesinde buharlaştırma lagünleri kullanılmaktadır. Zeytin ve zeytinyağı üretimi kış sezonunda yapılmaktadır. Bu nedenle kullanılan lagünlerin sızdırmazlıklarının iyi olmaması, buharlaşmanın en düşük olduğu döneme denk gelmesi ve yağmur suları ile

birleşerek taşmalara neden olmaktadır. Literatür çalışmalarında zeytin karasuyunun karakterizasyonu incelendiğinde KOİ, BOİ₅, AKM ve Yağ-Gres bakımından evsel nitelikli bir atıksudan ortalama 200 kat daha kirletici olduğu ayrıca polifenoller ve uçucu organik asitler içermesi sebebiyle de önemli bir kirletici kaynağı olduğu tespit edilmiştir.

Antalya Organize Sanayi Bölgesi, Döşemealtı ilçesinde bulunmakta ve 1. Derece koruma alanı sınırları içerisinde yer almakta olduğu için büyük önem arz etmektedir. Toplamda 692 hektarlık alana sahiptir. Kömürcüler, Çıplaklı, Bıyıklı ve Yağca mahallelerine yakın olduğu için bölgedeki su kaynakları açısından önemli ölçüde risk oluşturmaktadır. Bölgede endüstriyel faaliyetin yoğun olması ve ciddi endüstriyel atıksu oluşturması sebebiyle izlenmesi, deşarj edilen yükün bilinmesi gerekmektedir.

Düden Çayı'nın beslenim alanında Kırkgöz Sanayi Sitesi, Toptancılar Sitesi, Döşemealtı Sanayi Sitesi, Gaziler Küçük Sanayi Sitesi, Zeytinlik Mahallesi Sanayi Sitesi ve Antalya Küçük Esnaf Sanayi Sitesi olmak üzere 6 adet küçük sanayi bölgesi ve geri dönüşüm tesisleri mevcuttur. Sanayi bölgesinde; boya, doğrama, hurda demir, plastik, kağıt, otomotiv, tarım ilaçları, mermer, gıda, elektronik, alkolü içecekler, halı yıkama, oto tamiri, oto yıkama gibi pek çok işletme faaliyet göstermektedir. Sanayi ve geri dönüşüm tesislerinden oluşan atıksuların Düden Çayı'nı tehdit etme potansiyeli oldukça yüksektir.

Kızıllı Entegre Katı Atık Değerlendirme, Geri Dönüşüm ve Bertaraf Tesisi Kızıllı mahallesinde olup, Antalya Büyükşehir Belediyesi tarafından işletilmektedir. Kentin bütün katı atık toplama sahasıdır. Tesiste; mekanik ayırma, biyometanizasyon, enerji, üretim, II. sınıf düzenli depolama ve tıbbi atık sterilizasyon üniteleri bulunmakta ve günlük 4000 t/gün evsel atık kabul etme kapasitesine sahip olup 18 adet gaz motorundan ve 1 adet buhar türbininden elde edilen 28,27 MW kurulu güç mevcuttur. Tesisten çıkan çöp suyu kanalizasyona bağlanarak merkezi arıtma tesisine verilmektedir. Tesisten olası kaçak sızıntı suları ve yağışlı sezondan oluşabilecek olumsuzlukların önüne geçebilmek adına Antalya Büyükşehir Belediyesi tarafından Acil Durum Eylem Planı hazırlanmış ve yürürlüğe konulmuştur. Kızıllı Entegre Katı Atık Değerlendirme, Geri Dönüşüm ve Bertaraf Tesisi, Düden Çayı'nın beslenim alanına girmekte ve olası bir risk oluşturmaktadır (Antalya Kent Konseyi Yürütme Kurulu 2021).

3.2. Su Kalitesi

Canlılığın temel unsurlarından biri olan su, insanlık tarihinin yerleşik hayata geçmeye başladığı evrede yerleşik hayatın tercih edilme nedenleri arasında yer alan temel kriterlerden biri olmuştur. Evrensel ve temel ihtiyaçlar arasında yer alan su, vücudumuzda yaşamsal fonksiyonların gerçekleşmesinin yanı sıra tarım, endüstri ve benzeri birçok alanda etkin rol oynamaktadır. İnsanlık tarihinin başlangıcından bugüne su ve su kaynakları üzerine yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Teknolojinin gelişimi, sanayinin hayatımızda etkin şekilde yer alması, küresel ısınma, iklim değişikliği, ekonomik ve kentsel gelişme ile kaynaklar üzerinde artan baskı su ve su kaynakları ile ilgili endişeye neden olmaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmaların genelinde su ve su kaynaklarını koruma ve sürdürülebilirliğini sağlamaya yönelik politikalar izlenmektedir.

Ekonomik gelişmeler ile birlikte yoğun bir şekilde yaşanan kentsel gelişme beraberinde gıda, sağlık, sanayi, tarım ve turizm gibi önemli sektörlerdeki su talebinin artışına neden olmuştur. Artan su talebi ile orantılı olarak su kaynaklarında görülen kirlilikte artış göstermektedir. Ancak var olan kaynaklar yaşanan gelişmelere ve bilinçsiz tüketime bağlı olarak tükenme riski taşımaktadır. Bu nedenle var olan kaynakların koruması ve tekrar kullanımının benimsenmesi oldukça önem taşımaktadır. Sektörel bazlı olarak bakıldığında, bazı proseslerin çalışma prensibi gereği temiz su kullanması gerekmektedir. Ancak birçok alanda ilk kullanımdan sonra atıksu niteliği kazanan suların tekrar kullanımı da mümkündür. Tekrar kullanımın söz konusu olduğu kaynağın kalite durumunun bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle çeşitli su kalite analizleri yapılmaktadır. Yoğun bir zaman ve ekonomik bütçe ihtiyacı ile karşılaşmamıza neden olan bu durum çoğunlukla farklı bir çözüm arayışına neden olmaktadır. Bu noktada ekonomik ve daha sürdürülebilir bir çözüm olarak değerlendirilen su kalite indeksleri, su kalitesinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi için uygulanabilecek bir yöntemdir.

3.2.1. Su Kalite İndeksi

Su kalite indeksi (SKİ), genel su durumu hakkında bilgi veren ve değerlendiren bir yöntemdir. Kolayca hesaplanabilen ve suyun durumu hakkında anlaşılabilir tek bir sayıyı ifade eden bir araçtır. SKİ'leri veri hacmini en aza indirir ve su kalitesi durumunun ifade edilmesini basitleştirir. SKİ modellerinin tarihsel gelişimi incelendiğinde, su kalitesinin kirlilik düzeyine göre ifade edilmesine ilişkin ilk çalışmalar 1848 yılında Almanya'da yapılmıştır. Fakat SKİ modelleri 1960'lı yılların ortalarında kullanılmaya başlanmıştır. Horton SKİ modeli 1965 yılında geliştirilen ilk modeldir. Horton tarafından geliştirilen bu model bir nehrin su kalitesi durumunun belirlenmesi amacıyla geliştirilmiştir. Horton, çözünmüş oksijen (ÇO), pH, koliformlar, spesifik iletkenlik, alkalinite ve klorür dahil olmak üzere indeks için en sık ölçülen su kalitesi değişkenlerini seçmiştir (Bilgin 2018; Çiftçi 2021).

SKİ'leri, çok sayıda su kalite parametresini bir araya getiren tek bir sayı olarak kolayca anlaşılabilir bir şekilde değerlendirme aşamalarını basitleştiren, hızlı ve etkili kararlar alınmasını sağlayan modellerdir. SKİ değerlendirme ölçeğine göre su kalitesini çok kirli, kirli, orta, iyi ve çok iyi gibi kalite sınıflarına ayırır. Mevcut su kaynağının kullanım amacına uygunluğu sınıflandırma yöntemi kullanılarak belirlenir.

SKİ hesaplamasının tüm yaklaşımlarında, dört ortak adım kullanılır (Gupta vd. 2019):

- (i) Parametre seçimi,
- (ii) Alt indekslerin oluşturulması: Farklı birimlerin ve su kalitesi değişkenlerinin boyutlarının ortak bir ölçeğe dönüştürülmesi,
- (iii) Ağırlıkların belirlenmesi: Su kalitesi değişkenlerinin toplam su kalitesine olan önemlerine göre ağırlıklandırılması,

(iv) Genel su kalitesi indeksinin oluşturulması: Alt indekslerin toplamı kullanılarak bir indeks puanının hesaplanmasıdır.

SKİ'ini değerlendirmek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en yaygın kullanılanları Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi (NSF-SKİ), Ağırlıklı Aritmetik Su Kalite İndeksi (WA-SKİ), Kanada Konseyi Çevre Bakanlığı Su Kalite İndeksi (CCME-SKİ), British Columbia Su Kalite İndeksi (BC-SKİ) ve Oregon Su Kalite İndeksi (O-SKİ)'dir. Bu indeksler birçok farklı parametreyi değerlendirerek su kalitesini tek bir değerle ifade etmektedir. Bu tez çalışması sürecinde, dört farklı su kalite indeks modeli kullanılmıştır.

3.2.1.1 Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi (NSF-SKİ)

Yapısal olarak Horton su kalite indeksine benzerlik gösteren bir indeks modeli geliştiren Brown vd. (1970), model geliştirme aşamasında ağırlık atama için kullandıkları delphi tekniğine özen göstermeleri nedeni ile Ulusal Sanitasyon Vakfı (NSF) tarafından desteklenmiş ve bu nedenle indeks Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi (NSF-SKİ) olarak adlandırılmıştır. Ağırlık atama için gösterilen bu özene ek olarak parametre seçimi ve ortak bir ölçek geliştirilmiş olmaları sebebiyle Horton'dan farklı bir indeks oluşturmuşlardır (Abbasi ve Abbasi 2012). NSF-SKİ en yaygın kullanılan su kalite indeksidir. Farklı su kaynaklarında su kalitesini karşılaştırmak için kullanılan indeks dokuz su kalite parametresini dikkate almıştır. Bu yöntem, bulanıklık, sıcaklık, fekal koliform, çözülmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, pH, toplam fosfat, nitrat ve toplam katı madde parametrelerini kullanmaktadır. Bazen bu modelin değiştirilmiş versiyonları da farklı su kaynaklarında su kalitesi hakkında bilgi sağlamak için kullanılmaktadır.

Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi (NSF-SKİ) için matematiksel formül denklem (3.1)'de verilmiştir.

$$NSF - SKİ = (\sum_{i=1}^n Q_i W_i) \quad (3.1)$$

Burada;

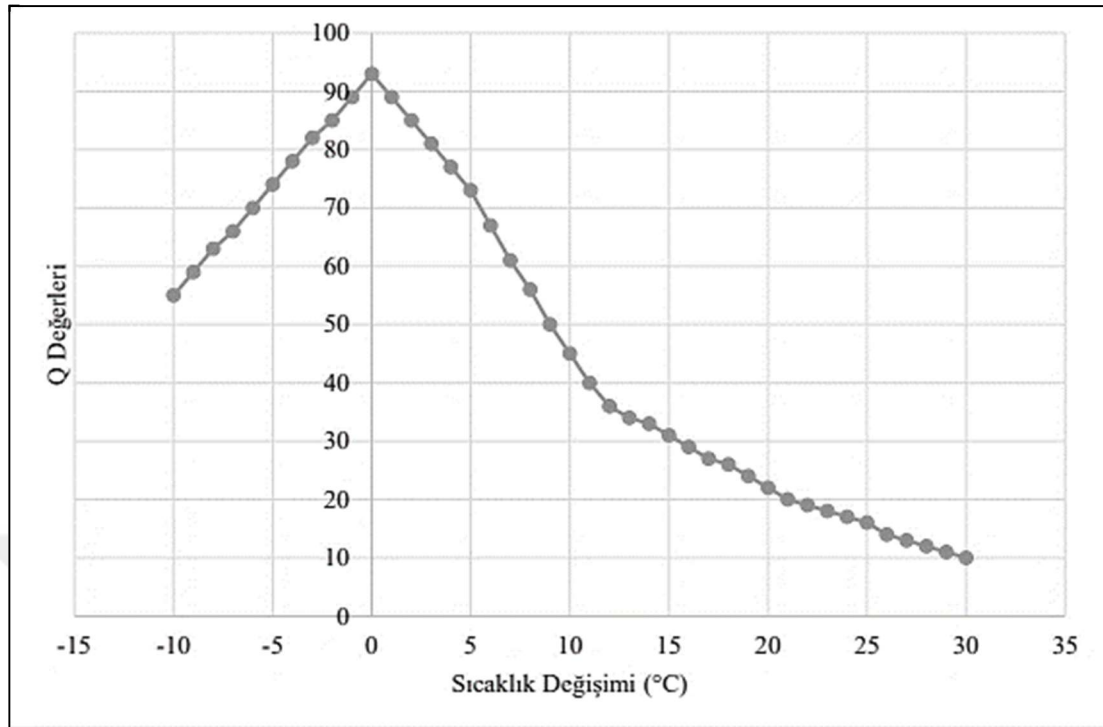
$i = 1$ 'den 9 'a kadar su kalite parametreleri

$Q_i = i$ numaralı su kalite parametresi için ölçüm değerine karşılık gelen alt indis değeri,

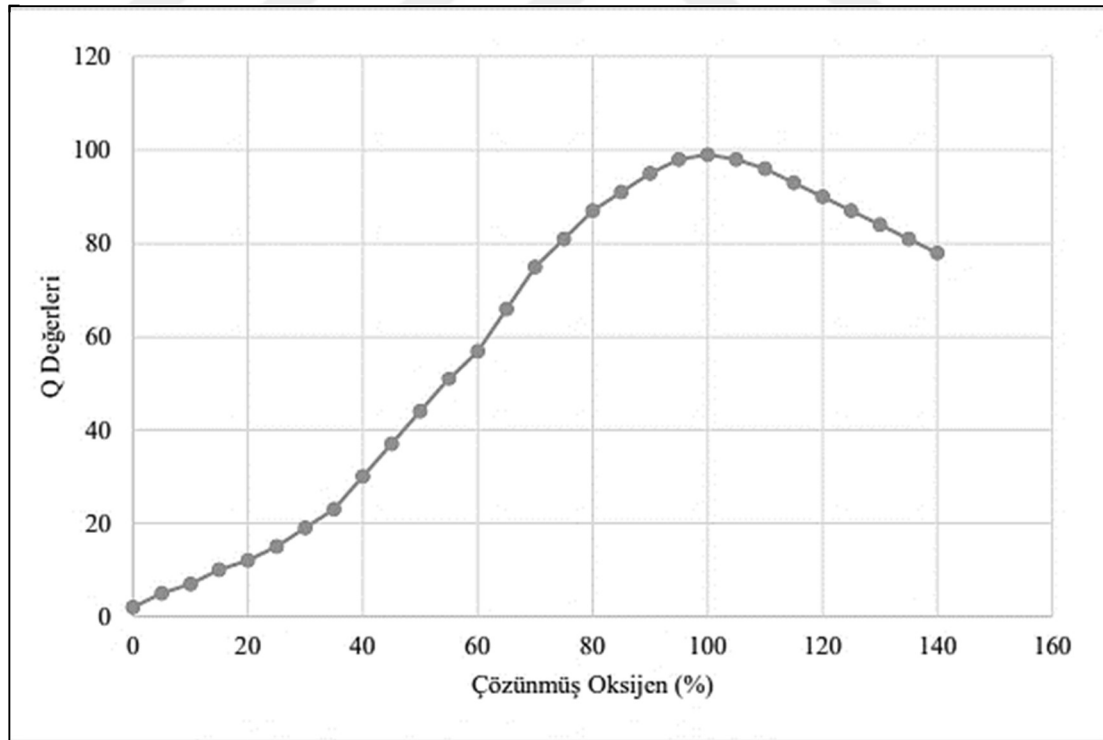
$W_i = i$ numaralı su kalite parametresinin ağırlık faktörünü,

n = Su kalitesi parametre sayısını göstermektedir.

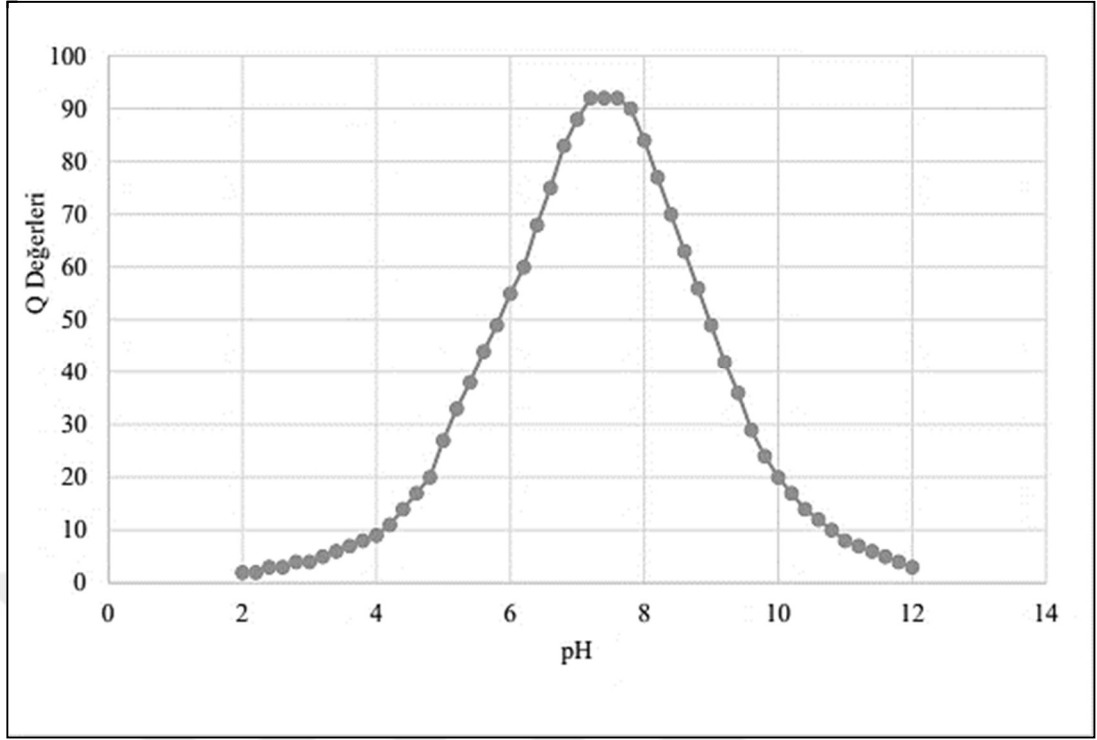
NSF-SKİ modelinde her bir parametre için belirlenmiş alt indis değerleri (Q) Şekil 3.13 - Şekil 3.20'de gösterilen grafikler kullanılarak belirlenir (Şahin 2018).



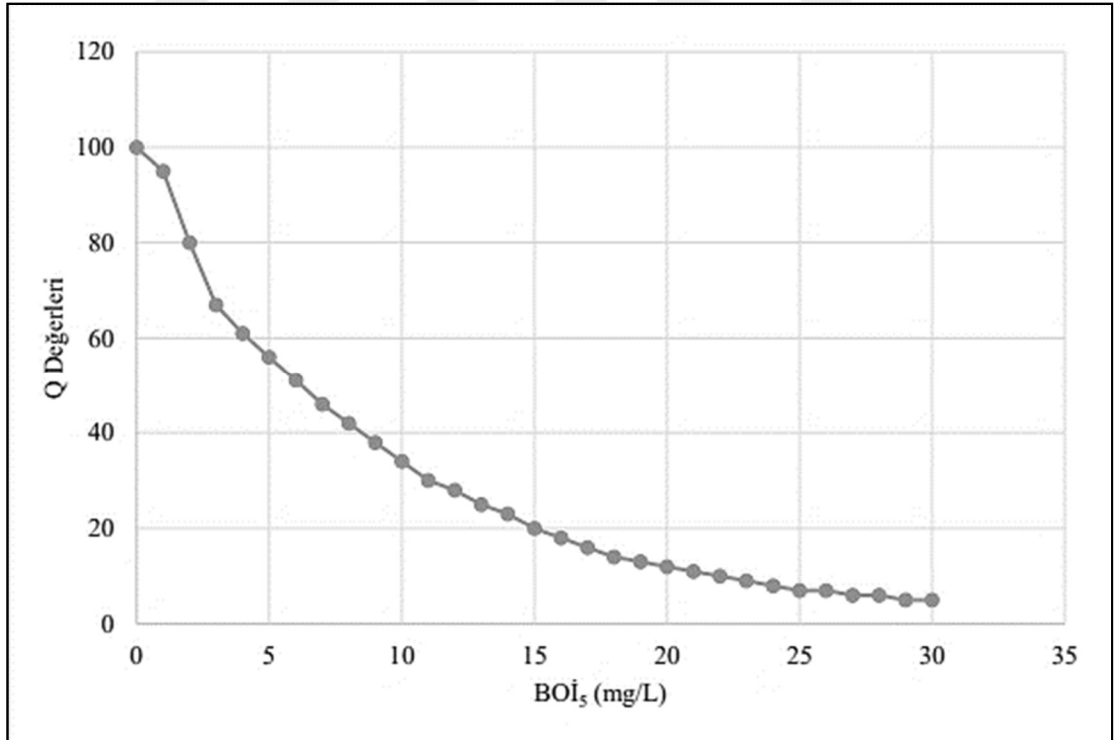
Şekil 3.13. Sıcaklık değişimi için Q değerleri (Şahin 2018)



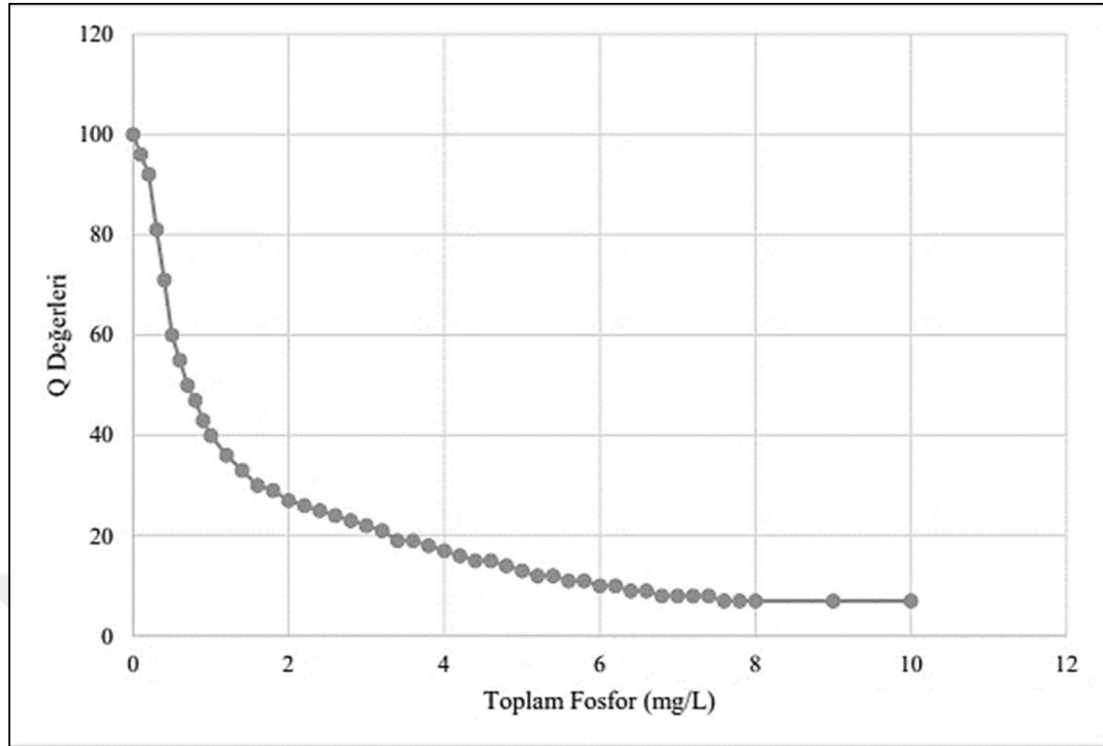
Şekil 3.14. Çözünmüş oksijen için Q değerleri (ÇO > %140 olduğunda Q=50) (Şahin 2018)



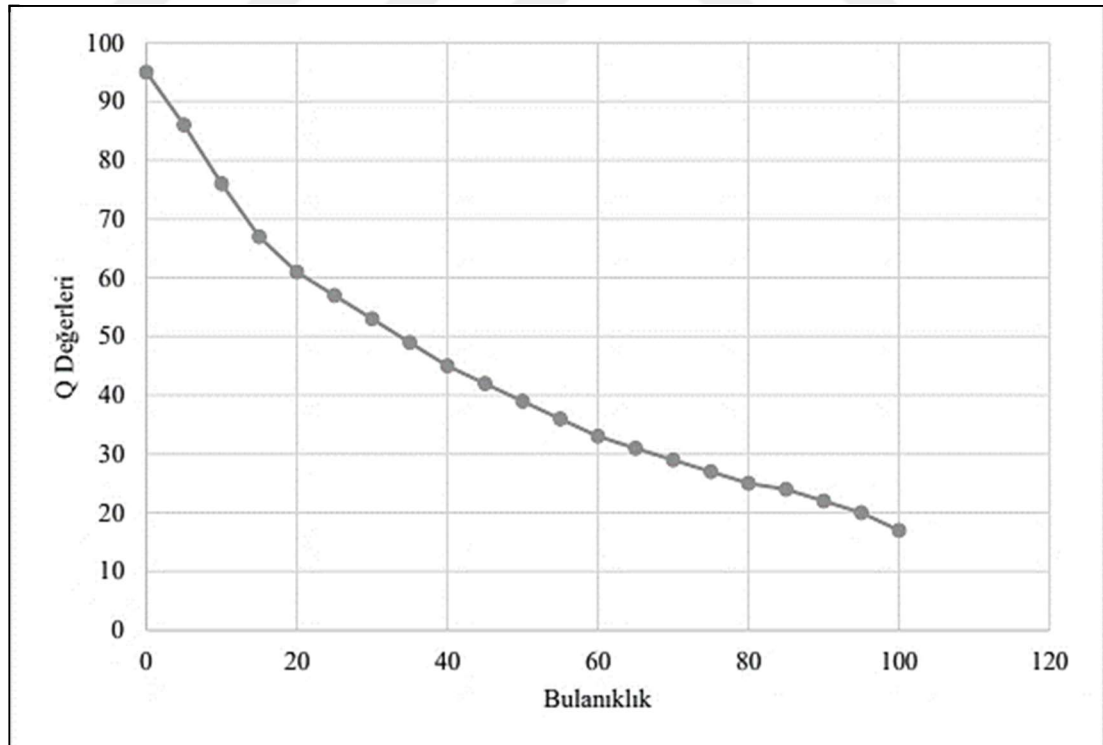
Şekil 3.15. pH için Q değerleri ($\text{pH} < 2$ ve $\text{pH} > 12$ olduğunda $Q=0$) (Şahin 2018)



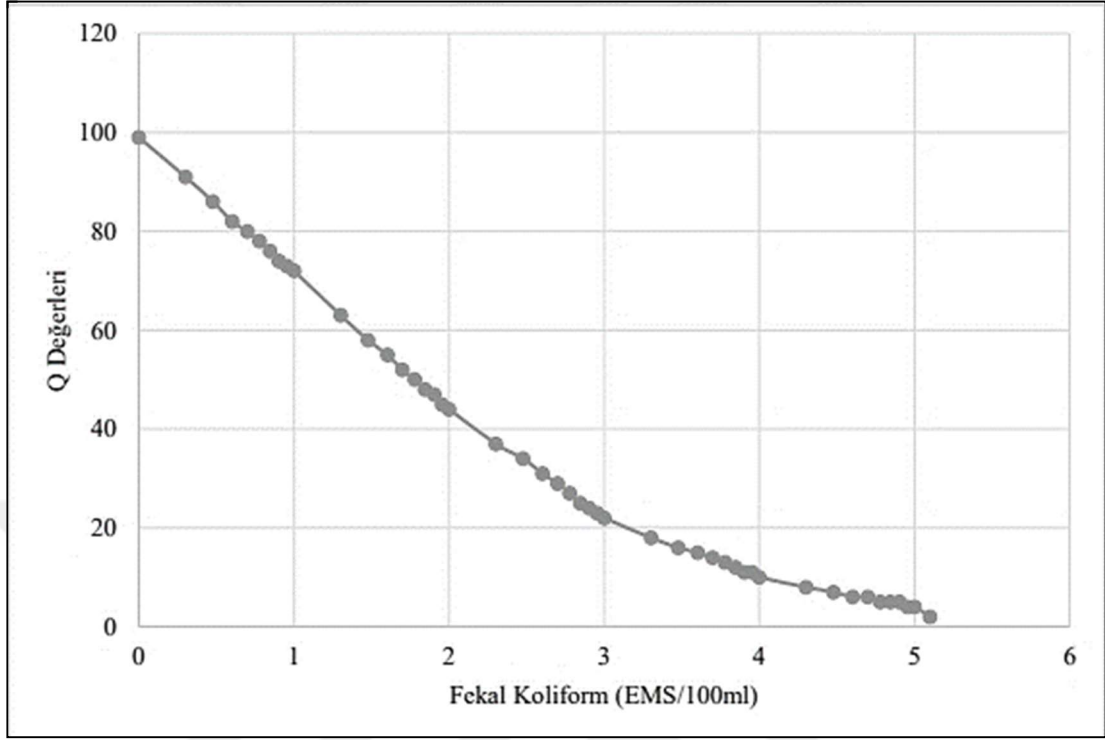
Şekil 3.16. BOİ₅ için Q değerleri ($\text{BOİ}_5 > 30$ olduğunda $Q=2$) (Şahin 2018)



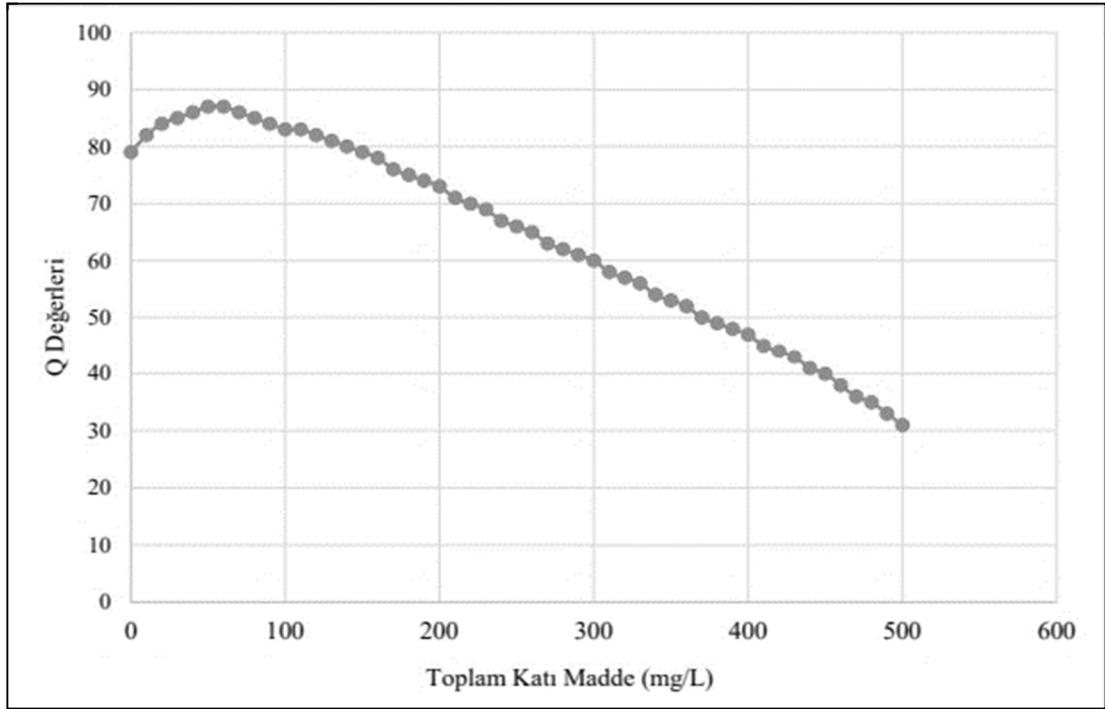
Şekil 3.17. Toplam fosfor için Q değerleri (Toplam Fosfor >100 mg/L olduğunda Q=2) (Şahin 2018)



Şekil 3.18. Bulanıklık için Q değerleri (Bulanıklık>100 mg/L olduğunda Q=5) (Şahin 2018)



Şekil 3.19. Fekal koliform için Q değerleri (Fekal koliform >100 000/100 ml olduğunda Q=2) (Şahin 2018)



Şekil 3.20. Toplam katı madde için Q değerleri (TKM>500 mg/L olduğunda Q=20) (Şahin 2018)

NSF SKİ metoduna göre atanan ağırlık katsayıları (W) 0-1 arasında değerler alır ve tüm parametrelere verilen ağırlık değerlerinin toplamı 1'e eşittir. Su kalitesi parametrelerine ait ağırlık katsayıları Çizelge 3.6'da verilmiştir (Abbasi ve Abbasi 2012; Şahin 2018).

Çizelge 3.6. NSF-SKİ modelinde kullanılan parametrelerin ağırlık faktörleri (Çiftçi 2021)

Parametre	Birim	Ağırlık Katsayısı
Çözünmüş Oksijen (ÇO)	(% doyunluk)	0.17
Fekal Koliform	(adet/100ml)	0.16
pH	(pH)	0.11
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ ₅)	(mg O/l)	0.11
Nitratlar	(mg N/l)	0.10
Toplam Fosfor	(mg P/l)	0.10
Su Sıcaklığı	(°C)	0.10
Bulanıklık	(NTU)	0.08
Toplam Katı Madde	(mg /l)	0.07
TOPLAM		1.00

Çizelge 3.7'de verilen NSF-SKİ modelinin kalite sınıflandırma ölçeğine göre yüzey suyu Çok Kötü, Kötü, Orta, İyi ve Çok İyi gibi kalite sınıflarına ayrılır. Dolayısıyla mevcut su kaynağının kullanım amacına uygunluğu bu sınıflandırma ölçeği ile belirlenebilir. NSF-SKİ modelinin avantaj ve dezavantajları Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks (NSF-SKİ) modelinin kalite sınıflandırma ölçeği (Uddin vd. 2021)

Su Kalite Skoru	Su Kalite Sınıfı
90 - 100	Çok İyi
70 - 89	İyi
50 - 69	Orta
25 - 49	Kötü
0 - 24	Çok Kötü

Çizelge 3.8. Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks modelinin avantaj ve dezavantajları (Tyagi vd. 2013)

Avantajlar	Dezavantajlar
➤ Tüm verileri tek bir indeks değerinde nesnel, hızlı ve tekrarlanabilir bir şekilde özetler. ➤ Çeşitli alanlar arasında değerlendirme yapar ve su kalitesindeki değişimleri belirler. ➤ İndeks değeri potansiyel bir su kullanımı ile ilgilidir. ➤ Su kalitesi ile ilgili uzman ve uzman olmayan kişilerin fikir sahibi olmasını sağlar.	➤ Suyun genel kalitesi hakkında bilgi sağlar, suyun özel kullanımını temsil etmez. ➤ Veri işleme sürecinde veri kaybına neden olur. ➤ Karmaşık çevresel konuların yönetiminde belirsizlik ve öznelliğe ilişkin eksiklikler mevcuttur. ➤ Belirli parametreler için geliştirilmiş alt-indisler kullandığı için özel bir veri setine ihtiyaç duyar.

3.2.1.2 Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi Su Kalite İndeksi (CCME-SKİ)

Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi Su Kalite İndeksi (CCME-SKİ), Kanada Çevre Bakanlığı tarafından geliştirilmiş ve oldukça yaygın bir şekilde kullanılan bir modeldir. Suyun çeşitli kullanımlar için uygunluğunu değerlendirme ihtiyacını kabul etmektedir (CCME 2001a,b). Su kalitesi verilerine geniş bir genel bakış ve su kalitesi analiz verilerinin anlaşılır bir şekilde ifade edilmesini sağlar. Su kalitesini belirlemek, raporlamak ve öncelikli eylem için havzaları belirlemede yaygın olarak kullanılan modeldir (Rocchini ve Swain 1995; Zandbergen ve Hall 1998). Araştırılan bölgenin çevre şartlarına bağlı olarak, konuma göre indeksdeki parametrelerin değişiklik göstermesi söz konusudur. Parametre kısıtlaması olmayan en az dört parametre ve bu parametrelerin en az dört ölçüm sonucuna ihtiyaç duyulmaktadır. İndeks, 0 ile 100 arasında değişen ölçekte üç faktörden oluşmakta ve bu üç faktörün birleştirilmesi ile su kalitesini zayıftan yükseğe doğru tanımlayan 0 ile 100 arasında olan tek bir sayı elde edilmektedir (Dede ve Sezer 2016).

İndeksi oluşturan faktörler;

Faktör 1 (F1) kapsam olarak adlandırılmaktadır. Su kalitesi mevzuatlarında verilen hedef değeri aşan parametrelerin toplam parametrelere göre yüzdesini ifade eder.

$$F1 = \frac{\text{Başarısız parametre sayısı}}{\text{Toplam parametre sayısı}} \times 100 \quad (3.2)$$

Faktör 2 (F2) frekans olarak adlandırılır. İzleme süreci boyunca yapılan toplam deney sayısına göre başarısız deneylerin yüzdesini ifade eder.

$$F2 = \frac{\text{Başarısız test sayısı}}{\text{Toplam test sayısı}} \times 100 \quad (3.3)$$

Faktör 3 (F3), sapma genişliği veya hedeflerin karşılanmadığı miktardır. Yönetmeliklerde verilen sınır değeri aşan başarısız test değerlerinin sayısını ifade eder. Üç aşamada hesaplanmaktadır.

a. Değişken değerinin sınır değeri karşılamadığı deney sayısı olan sapma hesaplanmaktadır.

i. Değişken değerinin sınır değerden fazla olamayacağı durumlar için;

$$Sapma_i = \left(\frac{\text{Başarısız deney değeri}_i}{\text{Hedef değer}} \right) - 1 \quad (3.4)$$

ii. Değişken değerinin sınır değerden az olamayacağı durumlar için;

$$Sapma_i = \left(\frac{\text{Hedef değer}}{\text{Başarısız deney değeri}_i} \right) - 1 \quad (3.5)$$

iii. Hedef değerin sıfır olduğu durumlar için;

$$Sapma_i = \text{Başarısız deney değeri}_i \quad (3.6)$$

b. İkinci aşamada birinci basamakta elde edilen sapmaların toplamının deney sayısına oranı belirlenmektedir. Bu oran normalleştirilmiş sapmalar toplamı (nse) olarak adlandırılmaktadır.

$$nse = \left(\frac{\sum_{i=1}^n sapma_i}{\text{Toplam Deney sayısı}} \right) \quad (3.7)$$

c. Son aşamada nse değerlerinin sınır değerlerden 0'dan 100 aralığında ölçeklendirilerek F3 değeri hesaplanmaktadır.

$$F3 = \left(\frac{nse}{0,01nse+0,01} \right) \quad (3.8)$$

Nihai olarak elde edilen F1, F2 ve F3 değerleri kullanılarak su kalite indeksinin hesaplanması sağlanır. İndeksin hesaplama formülü eşitlik 3.9'da verilmiştir (CCME 2001a,b).

$$CCME - SKİ = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732} \right) \quad (3.9)$$

CCME-SKİ modelinden elde edilen değerler Çizelge 3.9’da verilen sınıflandırma ölçeği ile karşılaştırılarak su kalite sınıfları belirlenir. CCME-SKİ modelinin avantaj ve dezavantajları Çizelge 3.10’da verilmektedir.

Çizelge 3.9. Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi Su Kalite İndeks modelinin kalite sınıflandırma ölçeği (Uddin vd. 2021)

Su Kalite Skoru	Su Kalite Sınıfı
95 -100	Çok İyi
80 - 94	İyi
65 - 79	Orta
45 - 64	Kötü
0 - 44	Çok Kötü

Çizelge 3.10. Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi Su Kalite İndeks modelinin avantaj ve dezavantajları (Tyagi vd. 2013)

Avantajlar	Dezavantajlar
➤ Girdi parametreleri ve hedeflerinin seçiminde esnek bir yapıdadır. ➤ Birbirinden farklı birimlerdeki çeşitli ölçüm değerlerini tek bir değer halinde birleştirir. ➤ Farklı yasal limitler ve farklı su kullanımları için kullanılır. ➤ Hesaplaması kolaydır ve eksik verilere tolerans sağlar. ➤ Çok değişkenli karmaşık veriyi istatistiksel olarak basitleştirir ➤ Genel halk ve yöneticiler için açık ve anlaşılır bir durum tespiti yapar. ➤ Çalışmak için alt-indislere ya da özel veri setlerine ihtiyaç duymaz.	➤ Tekil değişkenlerde bilgi kaybı yaşanır. ➤ Spesifik lokasyon ve su kullanımına özgü hedefler hakkında bilgi kaybına neden olur. ➤ Sonuçlar indeks formülasyonuna hassastır. ➤ İndeksin farklı ekosistem türlerine taşınabilirliği zayıftır. ➤ Tüm değişkenlere aynı derecede önem verilmektedir. ➤ Diğer indikatörler veya biyolojik verilerle bir kombinasyon sağlanamaz. ➤ Su kalitesinin sadece kısmi tespiti yapılır. ➤ 4’ten az değişken düşünüldüğünde veya aralarında çok fazla kovaryans var ise F1 doğru sonuç vermemektedir.

3.2.1.3. British Columbia Su Kalite İndeksi (BC-SKİ)

1995 yılında Kanada Çevre Bakanlığı tarafından su kalitesini değerlendirmek için geliştirilen indekstir. CCME-SKİ'ye benzerlik gösteren bir modeldir. Karmaşık veri setlerinin basit anlaşılır bir şekilde ifade edilmesini sağlamaktadır. Yapılan ölçümleri belirlenmiş limit değerlerle karşılaştırılarak oluşturulur. Parametrelerin tümünde sınıflandırma imkanı sunar. Su kullanımına bağlı olarak içme, sulama, yüzme gibi çeşitli hedeflere dayanmaktadır. Kullanılacak suyun amacına göre sınırlamaları belirlenir. BC-SKİ hesaplama formülü eşitlik 3.10'da verilmiştir

$$BC - SKİ = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + \left(\frac{F3}{3}\right)^2}}{1.453} \right) \quad (3.10)$$

BC-SKİ modelinde diğer indekslerde dikkate alınmayan F1'in aşılma su kalitesi kılavuzlarının yüzdesi olduğu ekstra bir faktör içerir. Formülde F2 bir veya daha fazla kılavuzun aşıldığı ölçümlerin yüzdesidir ve F3 ise herhangi bir yönergenin aşıldığı maksimum (100'e normleştirilmiş) kapsamdır.

Tekrarlanan örneklemeler ve artan istasyonlar BC-SKİ'nin doğruluğunu arttırmaktadır (Suryawnsi vd. 2018). BC-SKİ modelinin kalite sınıflandırılma ölçeği Çizelge 3.11'de ve BC-SKİ'nin avantaj ve dezavantajları ise Çizelge 3.12'de verilmiştir.

Çizelge 3.11. British Columbia Su Kalite İndeks modelinin kalite sınıflandırma ölçeği (Uddin vd. 2021)

Su Kalite Skoru	Su Kalite Sınıfı
0 - 3	Çok İyi
4 - 17	İyi
18 - 43	Orta
44 - 59	Kötü
60 - 100	Çok Kötü

Çizelge 3.12. British Columbia Su Kalite İndeksinin avantaj ve dezavantajları (Zandbergen ve Hall 1998)

Avantajlar	Dezavantajlar
➤ Çeşitli parametrelerin ölçümelerini tek bir indeks olarak temsil eder, böylece karmaşıklığı azaltır. ➤ Farklı birimlerdeki değişkenleri tek bir birime dönüştürerek istatistiksel olarak anlaşılmasını basitleştirir. ➤ Farklı birimlerdeki çeşitli parametrelerin tek bir değer halinde birleştirir. ➤ Hesaplaması kolay ve eksik veriye tolerans sağlar ➤ Uzman olmayan kişilerin dahi su kalitesi hakkında bilgi sahibi olmasını kolaylaştırır.	➤ Tekil değişkenlerde bilgi kaybı yaşanır. ➤ Spesifik lokasyon ve su kullanımına özgü hedefler hakkında bilgi kaybı yaşanabilir. ➤ Sonuçlar indeks formülasyonuna hassastır. ➤ İndeksin farklı ekosistem türlerine taşınabilirliği zayıftır. ➤ Tüm değişkenlere aynı derecede önem verilmektedir. ➤ Parametreler arasındaki etkileşimler dikkate alınmaz. ➤ Su kalitesinin sadece kısmi tespiti yapılır. ➤ Bu indeks, standart limitinden sapana kadar su kalitesi eğilimini göstermez.

3.2.1.4 Oregon Su Kalite İndeksi (O-SKİ)

Oregon Su Kalite İndeksi, Oregon Çevre Departmanı tarafından 1970’li yıllarda genel su kalitesinin değerlendirilmesi ve anlaşılır bir şekilde ifade edilmesi amacı ile geliştirilmiştir (Cude 2001). Sıcaklık, çözülmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, pH, amonyak + nitrat azotu, toplam fosfor, toplam katı madde ve fekal koliform olmak üzere sekiz su kalitesi parametresini tek bir sayı olarak ifade eder. O-SKİ modeli fiziksel, kimyasal ve biyolojik verileri dikkate almadan yüzme, balık yetiştiriciliği gibi genel olarak su kalite değerlendirmesi yapmaktadır. O-SKİ modeli değişken seçimi için uzman görüşlerine başvurularak Delphi tekniğini kullanmaktadır. Ulusal Sanitasyon Vakfı NSF-SKİ’den sonra geliştirilmiştir. İndeks, parametrelerin ağırlık etkilerini harmonik kare ortalama formülü kullanarak oluşturmaktadır. O-SKİ yönteminin matematiksel ifadesi eşitlik 3.11’de verilmiştir. Her bir parametreye ait alt indis değerleri Çizelge 3.13’te verilmiştir. Oregon su kalite indeks modelinin her bir parametreye ait alt-indis değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.21 – Şekil 3.29’ da verilmiştir (Cude 2001).

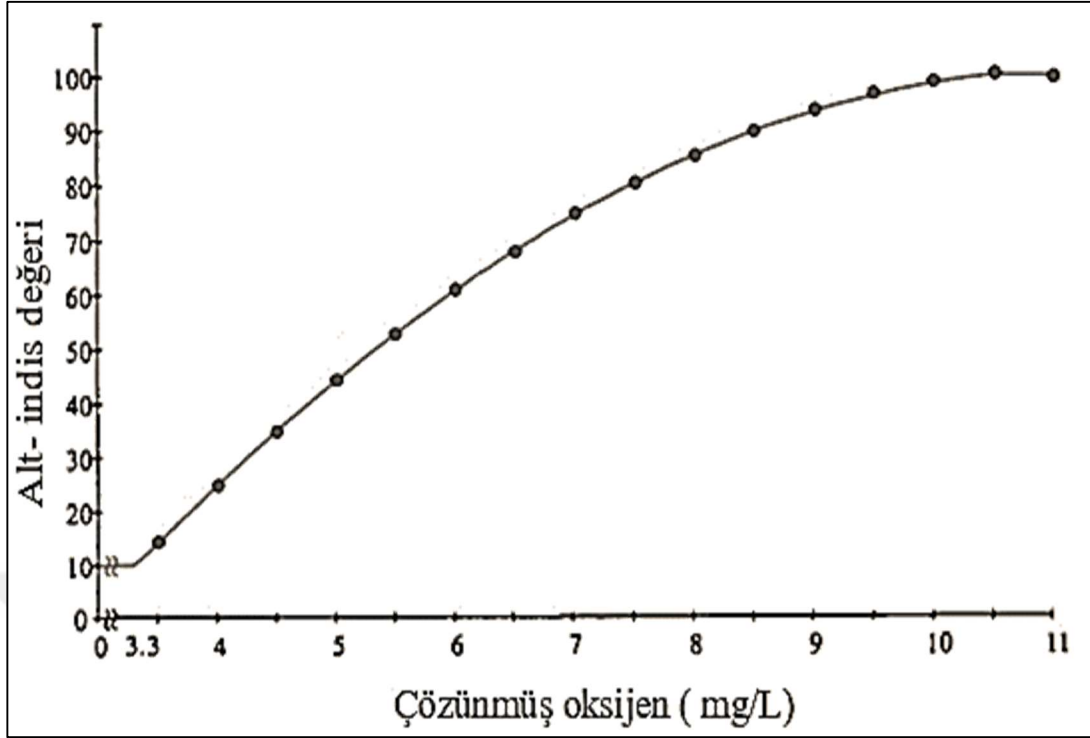
$$O - SKİ = \left(\sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SI_i^2}}} \right) \quad (3.11)$$

Bu denklemde ;

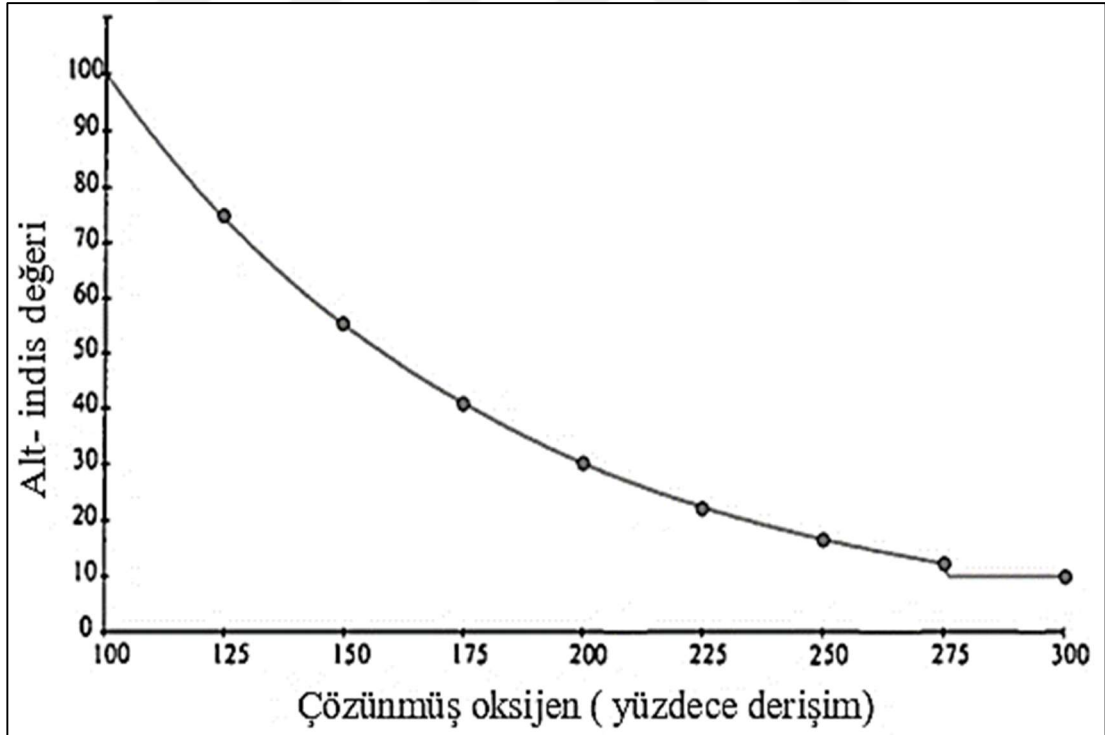
n= işleme dahil edilecek parametre sayısı, SI (subindex) = i’inci parametrenin değerinin grafikte karşılık gelen alt indis değeridir.

Çizelge 3.13. Oregon –SKİ her bir parametreye ait alt indis değerleri (Cude 2001)

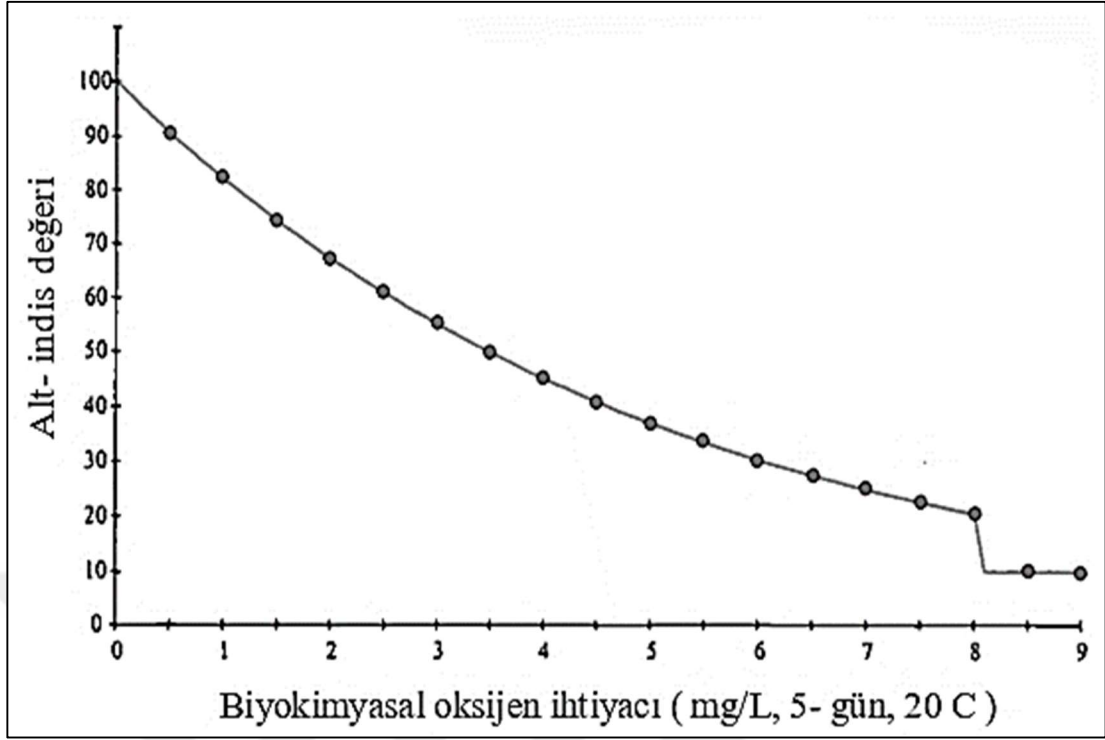
Oregon Su Kalite İndeksi Parametreleri	Her Bir Parametreye Ait Alt-İndis Değerleri	Oregon Su Kalite İndeksi Parametreleri	Her Bir Parametreye Ait Alt-İndis Değerleri
Çözünmüş oksijen derişimi (ÇO): Birim olarak mg/L kullanılır.	➤ $\text{ÇO} \leq 3.3 \text{ mg/L}$ ise $\text{SI}_{\text{ÇO}} = 10$ ➤ $3.3 \text{ mg/L} \leq \text{ÇO} \leq 10.5 \text{ mg/L}$ ise $\text{SI}_{\text{ÇO}}$ Şekil 3.21’de 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 3.22’den okunur. ➤ $\%275 \leq \text{ÇO}\%$ ise $\text{SI}_{\text{ÇO}} = 10$
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOI_5): Birim olarak mg/L kullanılır.	➤ $\text{BOI}_5 \leq 8 \text{ mg/L}$ ise SI_{BOI_5} Şekil 3.23’ten okunur. ➤ $8 \text{ mg/L} < \text{BOI}_5$ ise $\text{SI}_{\text{BOI}_5} = 10$	Sıcaklık (T): Birim olarak °C kullanılır.	➤ $T \leq 11 \text{ }^\circ\text{C}$ ise $\text{SI}_T = 100$ ➤ $11 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 29 \text{ }^\circ\text{C}$ ise SI_T Şekil 3.29’dan okunur. ➤ $29 \text{ }^\circ\text{C} < T$ ise $\text{SI}_T = 1$
Toplam katı madde derişimi (TKM): Birim olarak mg/L kullanılır.	➤ $\text{TKM} \leq 40 \text{ mg/L}$ ise $\text{SI}_{\text{TKM}} = 100$ ➤ $40 \text{ mg/L} < \text{TKM} \leq 280 \text{ mg/L}$ ise SI_{TKM} Şekil 3.27’de okunur. ➤ $280 \text{ mg/L} < \text{TKM}$ ise $\text{SI}_{\text{TKM}} = 10$	Fekal koliform (FK): Birim olarak sayı/100 mL kullanılır.	➤ $\text{FK} \leq 50$ ise $\text{SI}_{\text{FK}} = 98$ ➤ $50 \leq \text{FK} \leq 1600$ ise SI_{FK} Şekil 3.28’den okunur. ➤ $1600 \leq \text{FK}$ ise $\text{SI}_{\text{FK}} = 10$
Amonyak + Nitrat azotu (N): Birim olarak mg/L kullanılır.	➤ $N \leq 3 \text{ mg/L}$ ise SI_N Şekil 3.24’ten okunur. ➤ $3 \text{ mg/L} < N$ ise $\text{SI}_N = 10$	Toplam fosfor (TF): Birim olarak mg/L kullanılır.	➤ $\text{TF} \leq 0.25 \text{ mg/L}$ ise SI_{TF} Şekil 3.25’ten okunur. ➤ $0.25 \text{ mg/L} < \text{TF}$ ise $\text{SI}_{\text{TF}} = 10$
pH	➤ $\text{pH} < 4$ ise $\text{SI}_{\text{pH}} = 10$ ➤ $4 \leq \text{pH} < 7$ ise SI_{pH} Şekil 3.26’da okunur. ➤ $7 \leq \text{pH} \leq 8$ ise $\text{SI}_{\text{pH}} = 100$ ➤ $8 < \text{pH} \leq 11$ ise SI_{pH} Şekil 3.26’da okunur. ➤ $11 < \text{pH}$ ise $\text{SI}_{\text{pH}} = 10$		



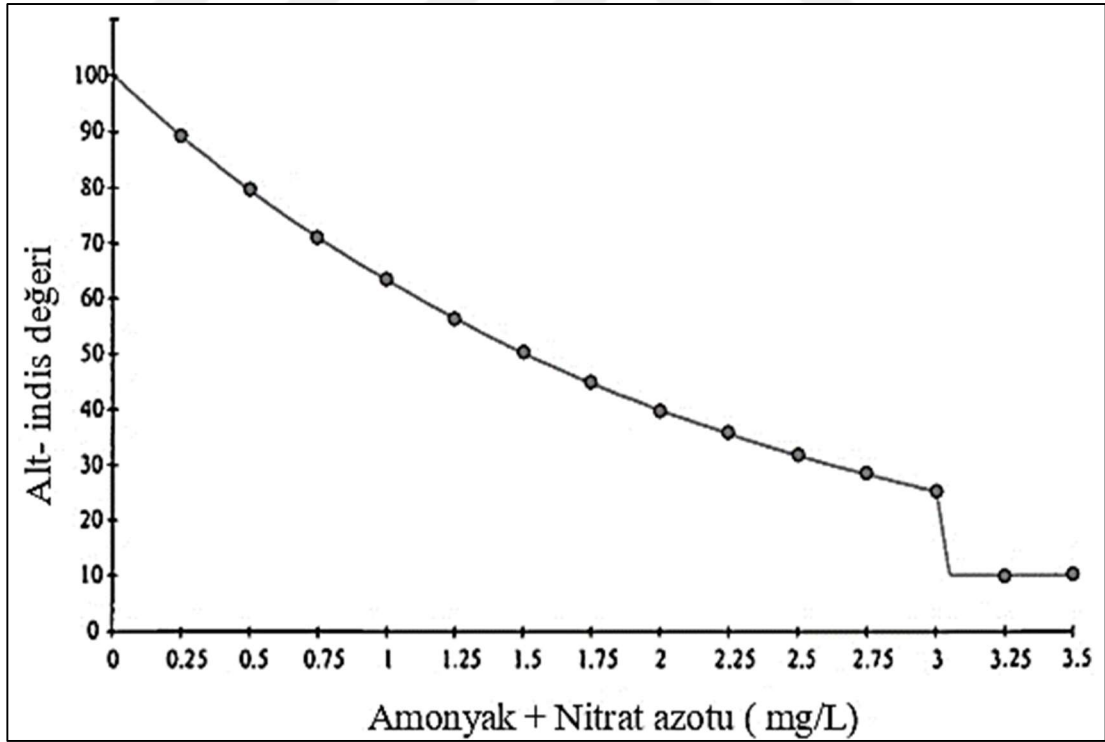
Şekil 3.21. Çözünmüş oksijen derişimi için alt – indis değeri (Cude 2001)



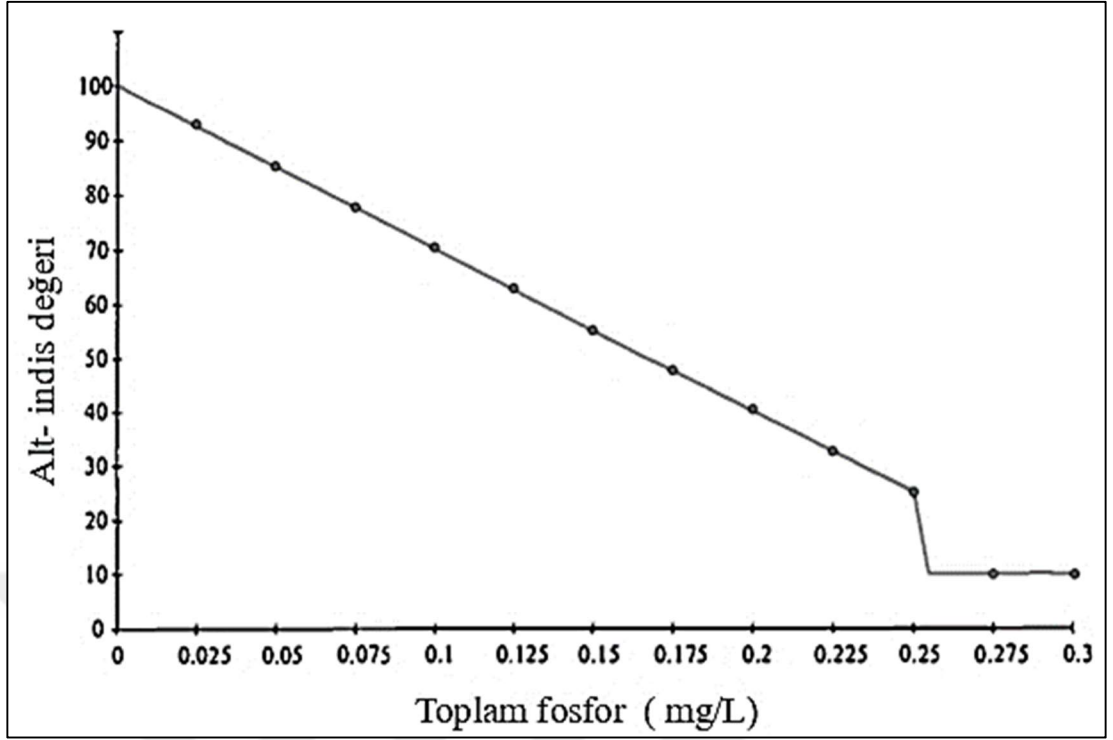
Şekil 3.22. Çözünmüş oksijen doygunluğu için alt – indis değeri (Cude 2001)



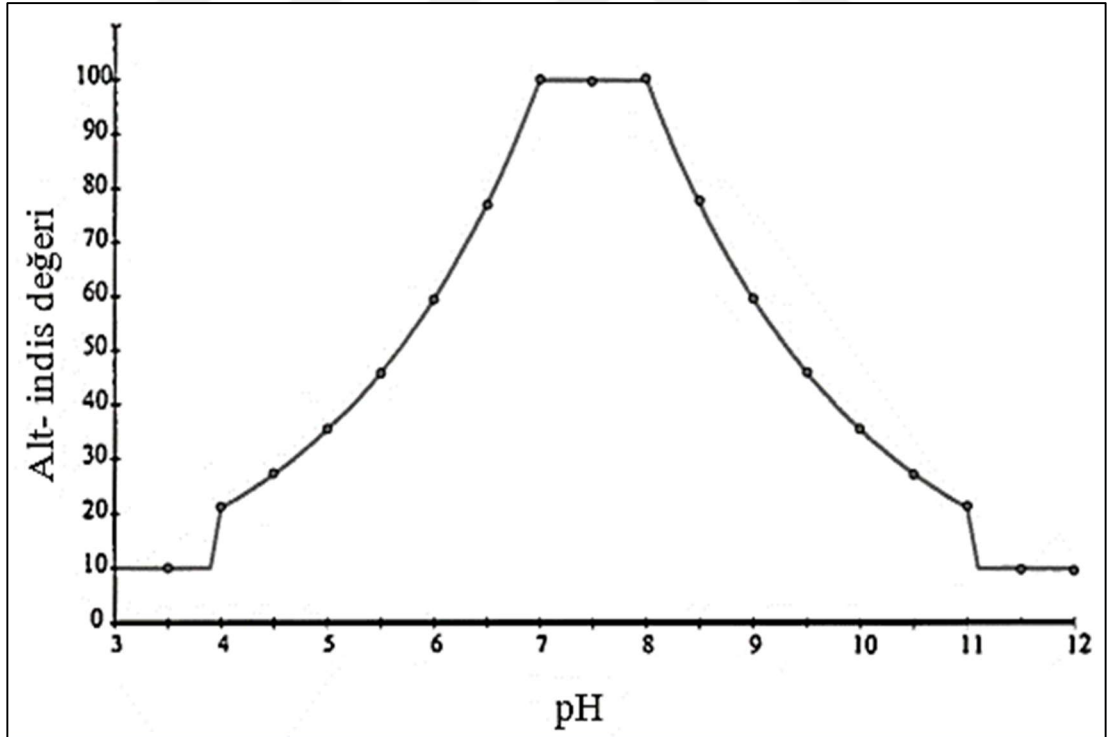
Şekil 3.23. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOI_5) için alt- indis değeri (Cude 2001)



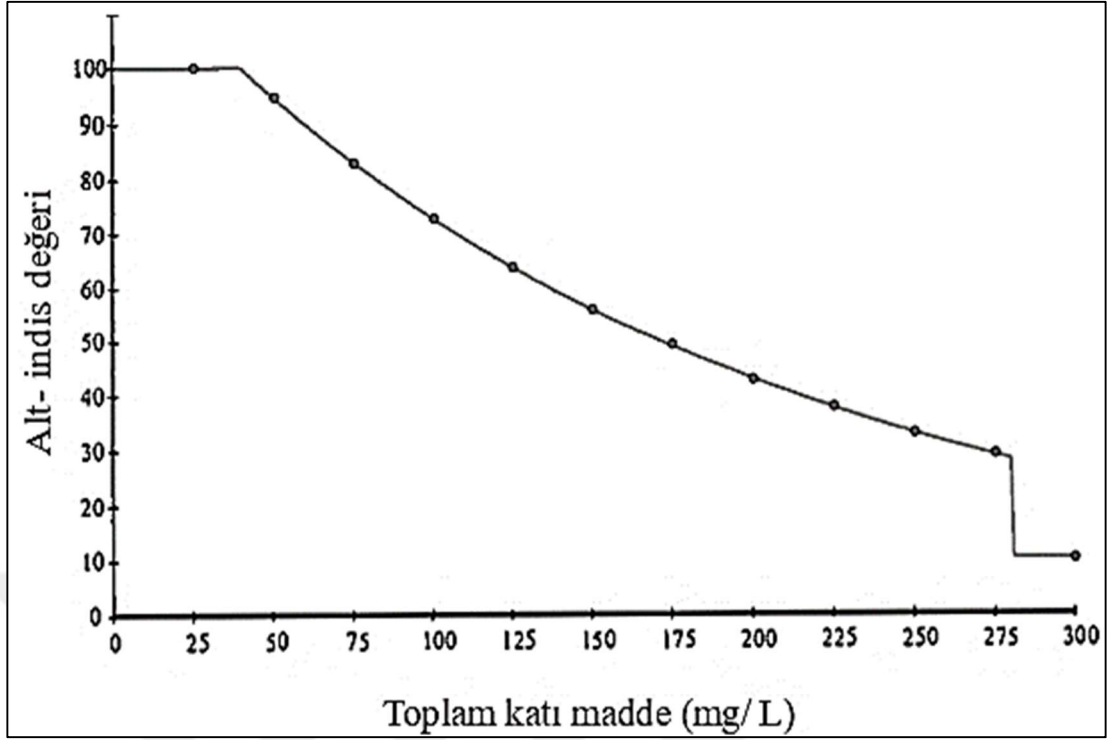
Şekil 3.24. Amonyak + Nitrat azotu için alt – indis değeri (Cude 2001)



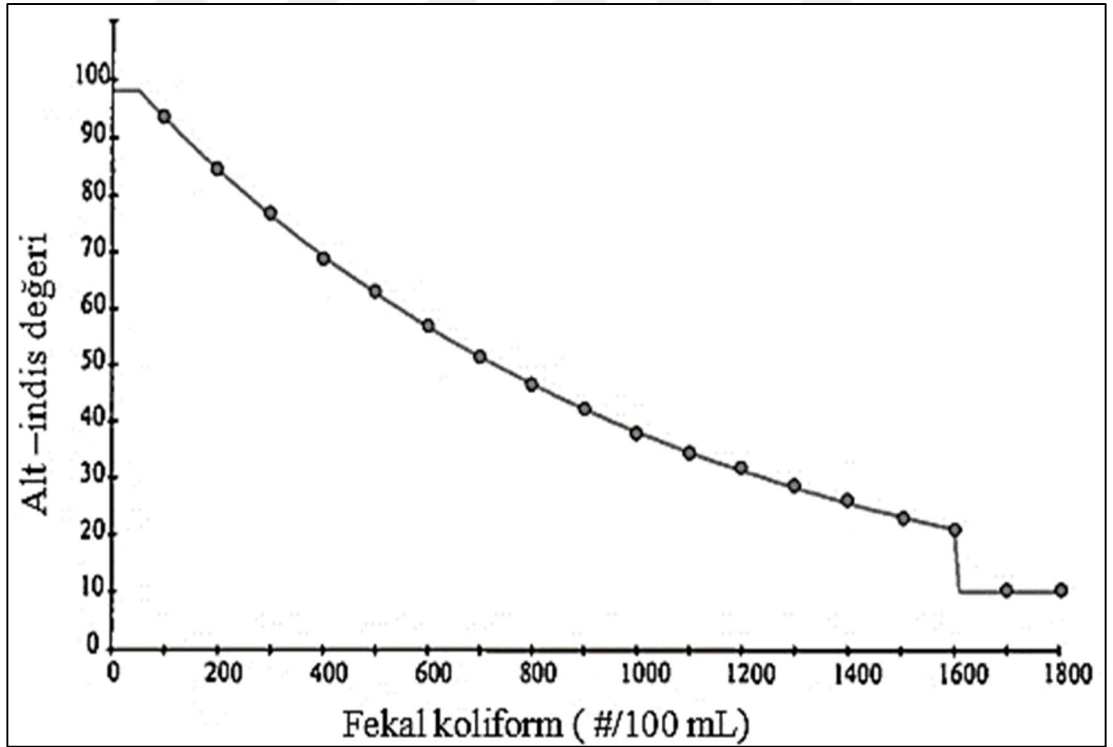
Şekil 3.25. Toplam fosfor için alt – indis değeri (Cude 2001)



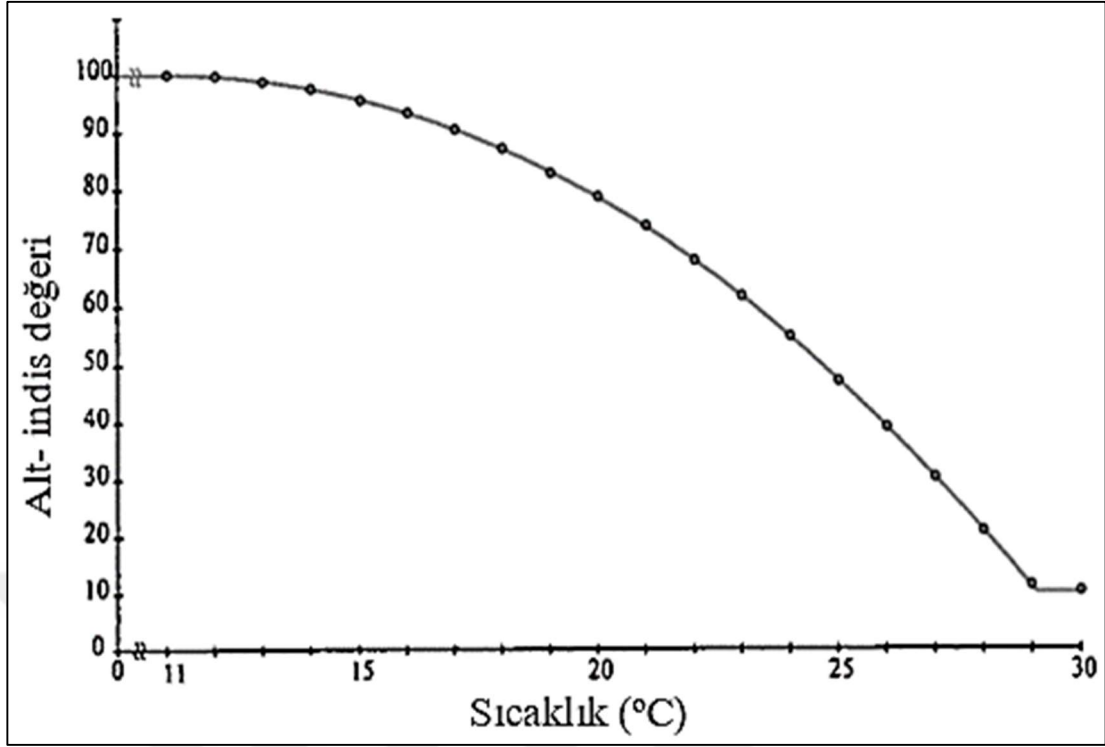
Şekil 3.26. pH için alt – indis değeri (Cude 2001)



Şekil 3.27. Toplam katı madde için alt – indis değeri (Cude 2001)



Şekil 3.28. Fekal koliform için alt–indis değeri (Cude 2001)



Şekil 3.29. Sıcaklık için alt – indis değeri (Cude 2001)

O-SKİ, farklı su kalite değişkenlerinin farklı zamanlarda ve mekanlarda genel su kalitesi için farklılıklar oluşturduğunu kabul etmektedir. Çizelge 3.14’te verilen O-SKİ modelinin kalite sınıflandırılma ölçeği kullanılarak su kalite sınıfı belirlenmektedir. O-SKİ modelinin avantaj ve dezavantajları Çizelge 3.15’te verilmektedir.

Çizelge 3.14. Oregon Su Kalite İndeks modelinin kalite sınıflandırma ölçeği (Tyagi vd. 2013)

Su Kalite Skoru	Su Kalite Sınıfı
90-100	Çok İyi
85-89	İyi
80-84	Orta
60-79	Kötü
0-59	Çok Kötü

Çizelge 3.15. Oregon Su Kalite İndeksinin avantaj ve dezavantajları (Tyagi vd. 2013)

Avantajlar	Dezavantajlar
➤ 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. ➤ Farklı su kalite parametrelerinin, farklı zamanlarda ve lokasyonlarda genel su kalitesinde farklı etkilere yol açar. ➤ İndeks formülü değişen koşullarda ve su kalitesi üzerinde önemli değişimlere karşı hassastır. ➤ Bazı alt indisler lokasyona bağlı seçilerek daha doğru sonuç üretmeye yarar.	➤ Kullandığı parametreler sebebiyle sudaki toksik derişimleri, habitatı ya da biyolojik değışiklikleri dikkate almaz. ➤ Su kalitesi durumu hakkında mevcut çalışma ortamının dışındaki bir nokta hakkında çıkarım yapmak mümkün değildir. ➤ Spesifik kullanımlar için su kalitesini belirleyemez ve uygun fiziksel, kimyasal ve biyolojik verileri dikkate almadan su kalitesi hakkında kesin bilgi sağlamak için kullanılamaz. ➤ Sağlık açısından riskli bazı parametreleri (toksikler, bakteriler, metaller, vb.) değerdendiremez. ➤ Belirli parametreler için geliştirilmiş alt-indisler kullandığı için özel bir veri setine ihtiyaç duyar.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada Düden Çayı'nın su kalitesi Ocak 2001- Şubat 2002 ve Ocak 2021- Şubat 2022 periyotları arasında yapılmış izleme çalışmaları sonuçları kullanılarak değerlendirilmiştir. İlk olarak Düden Çayı su kalitesinin genel değerlendirilmesi yönetmelikte verilen limit değerler ile karşılaştırılarak yapılmıştır. Daha sonra su kalitesi analiz sonuçları kullanılarak örnekleme yapılan her istasyona ait SKİ değerleri farklı SKİ modelleri kullanılarak hesaplanmıştır. Böylece Düden Çayı su kalitesinin durumu ve değişimi zamansal ve mekansal olarak değerlendirilmiştir.

4.1. Genel Su Kalitesi Değerlendirmesi

Erdem (2002) tarafından Ocak 2001 - Şubat 2002 arasında Düden Çayı üzerindeki 4 istasyondan ve ASAT tarafından Ocak 2021 - Şubat 2022 arasında Düden Çayı üzerindeki 4 istasyondan yapılan izleme çalışmalarına ait su kalitesi parametrelerinin su kalite sınıfları belirlenmiştir. İzleme istasyonlarına ait su kalitesi parametrelerinin su kalitesi sınıfları belirlenirken YSKY ve SKKY'den faydalanılmıştır. Su kalitesi sınıflandırılmasında kullanılan parametreler ilgili yönetmeliklerde yer alan sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Düden Çayı'nda tüm istasyonlarda su kalitesi aylık olarak değerlendirilmiştir. Çözünmüş Oksijen, pH, Kimyasal Oksijen İhtiyacı, Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, Toplam Fosfor, Nitrat Azotu, Amonyum Azotu ve Mangan YSKY (16.06.2021, RG: 31513) Ek-5 Tablo-2 (Kıtaçi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizikokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına göre Kalite Kriterleri)'de yer alan sınır değerlere göre sınıflandırılmıştır. Sıcaklık, Fekal Koliform, Sülfat, Klorür, Demir, Alüminyum ve Toplam Çözünmüş Madde ise SKKY (13.02.2008; RG: 26786) Tablo-1 : (Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri)'de yer alan sınır değerlere göre sınıflandırılmıştır.

Su kaynaklarının korunmasında SÇD'ne göre temel hedef iyi su durumuna ulaşmayı sağlamaktır. Ocak 2001-Şubat 2002 periyoduna ait yapılan çalışmada 4 izleme istasyonunda gözlemlenen parametrelerin yıllık ortama değerlere göre su kalite sınıfları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Tüm istasyonlarda ölçülen Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, Sıcaklık, pH, Kimyasal Oksijen İhtiyacı ve Nitrat Azotu parametrelerinin yönetmeliklerdeki sınır değerlerle karşılaştırıldığında tüm izleme istasyonlarında I. sınıf kalitede oldukları gözlemlenmiştir. Çözünmüş Oksijen tüm istasyonlarda II. sınıf kalitede, Toplam Çözünmüş Maddenin Kırkgözler Kanalı ve Gençlik Parkı izleme istasyonlarında I. sınıf, Düdenbaşı Mevkii ve Koyunlar Regülatörü izleme istasyonlarında ise II. sınıf kalitede olduğu görülmektedir. Toplam Fosfor parametresinin tüm istasyonlarda III. sınıf kalitede ve Fekal Koliformun ise tüm izleme istasyonlarında IV. sınıf kalitede olduğu gözlemlenmiştir.

Erdem (2002) tarafından Ocak 2001- Şubat 2002 periyoduna ait 4 izleme istasyonunda gözlemlenen parametrelerin aylık ölçüm değerlerine göre su kalite sınıfları

Çizelge 4.2 - Çizelge 4.5'te verilmiştir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (16.06.2021, RG: 31513)'ne göre Kırkgözler Kanalı izleme istasyonundaki çözünmüş oksijen parametresinin 2001 Ocak, Şubat, Mart aylarında I. sınıf (çok iyi), 2001 Haziran, Ağustos ve Eylül aylarında III. sınıf (orta) kalitede olduğu tespit edilmiştir. YSKY (16.06.2021, RG: 31513)'ne göre tüm su kalitesi sınıfları için pH aralığı 6-9 olarak aynı şekilde tanımlanmıştır. Buna göre ölçülen tüm pH değerleri değerlendirildiğinde I. sınıf, yüksek kaliteli sular sınıfına girdikleri görülmektedir. SKKY (13.02.2008; RG: 26786)'ye göre sıcaklık değerlerinin yıl boyunca tüm istasyonlarda I. sınıf (çok iyi) kalitede olduğu ve sadece Kırkgözler Kanalı'nda 2001 Ağustos ayında III. sınıf (orta) kalitede olduğu tespit edilmiştir. YSKY (16.06.2021, RG: 31513) kalite kriterlerine göre BOI_5 parametresinin Düdenbaşı Mevkii izleme istasyonunda 2001 Haziran, Ağustos, Eylül ve Aralık aylarında II. sınıf (iyi), diğer tüm aylar ve istasyonlarda ise I. sınıf (çok iyi) kalitede olduğu tespit edilmiştir. YSKY (16.06.2021, RG: 31513)'ne göre Gençlik Parkı izleme istasyonu toplam fosfor açısından 2001 Mart, Nisan, Haziran ve 2002 Şubat aylarında II. sınıf, 2001 Kasım ve Aralık aylarında IV. sınıf, izlenen diğer tüm aylarda ise III. sınıf kalitede olduğu tespit edilmiştir. Ocak 2001- Şubat 2002 periyoduna ait yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar ışığında 4 izleme istasyonunda da Toplam Fosfor ve Fekal Koliform parametrelerinin genellikle III. ve IV. sınıf kalitede olduğu gözlemlenmiştir. Tüm istasyonlarda gözlemlenen yüksek toplam fosfor konsantrasyonları, kirliliğin özellikle gübre ve pestisit kullanımının olduğu tarımsal faaliyetlerden ve bölgede bulunan sanayi kuruluşları tarafından deşarj edilen atıksulardan kaynaklı olabileceği izlenimini uyandırmıştır. Biyolojik kirlilik parametreleri arasında yer alan ve genellikle dışkı kaynaklı olan Fekal Koliform'un tüm istasyonlardaki ölçüm değerlerinin yönetmelikte verilen sınır değerleri aştığı görülmüştür. Biyolojik kirliliğe neden olan Fekal Koliform miktarındaki artışın ise bölgedeki atıksu deşarjları ve hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. SKKY (13.02.2008; RG: 26786)'ye göre toplam çözünmüş madde Kırkgözler Kanalı ve Gençlik Parkı izleme istasyonlarında genellikle I. Sınıf, Düdenbaşı Mevkii ve Koyunlar Regülatörü izleme istasyonlarında ise II. sınıf kalite özelliği göstermektedir. İzleme periyodu boyunca YSKY (16.06.2021, RG: 31513) kalite kriterlerine göre nitrat azotu tüm istasyonlarda genellikle I. sınıf kalite sergilerken, Kasım ayında II. sınıfa geçtiği görülmektedir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (16.06.2021, RG: 31513) kalite kriterlerine göre izleme yapılan tüm istasyonların kimyasal oksijen ihtiyacı açısından I. sınıf (çok iyi) kalitede olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.1. Ocak 2001- Şubat 2002 periyoduna ait istasyonlar için ölçüm yapılan parametrelerin yıllık ortalamalara göre su kalite sınıfları (Erdem 2002)

Parametreler	Çözünmüş Oksijen (mg/L)	BOİ ₅ (mg/L)	Sıcaklık (°C)	pH	Toplam Çözünmüş Madde (mg/L)	Toplam Fosfor (mg/L)	Fekal Koliform (EMS/100mL)	KOİ (mg/L)	Nitrat Azotu (mg/L)
Kırgözler Kanalı	II	I	I	I	I	III	IV	I	I
Düdenbaşı Mevkii	II	I	I	I	II	III	IV	I	I
Koyunlar Regülatörü	II	I	I	I	II	III	IV	I	I
Gençlik Parkı	II	I	I	I	I	III	IV	I	I

Çizelge 4.2. Kırkgözler Kanalı izleme istasyonu ölçüm parametrelerine ait su kalite sınıfları (Ocak 2001- Şubat 2002) (Erdem 2002)

AYLAR	İstasyon 1 (Kırkgözler Kanalı)								
Parametreler	Çözülmüş Oksijen (mg/L)	BOİ ₅ (mg/L)	Sıcaklık (°C)	pH	Toplam Çözülmüş Madde (mg/L)	Toplam Fosfor (mg/L)	Fekal Koliform EMS/100mL	KOİ (mg/L)	Nitrat Azotu (mg/L)
15.01.2001	I	I	I	I	I	II	II	I	I
15.02.2001	I	I	I	I	I	II	III	I	I
15.03.2001	I	I	I	I	I	IV	II	I	I
15.04.2001	II	I	I	I	I	III	III	I	I
15.05.2001	II	I	I	I	II	II	II	I	I
15.06.2001	III	I	I	I	I	II	IV	I	I
15.07.2001	II	I	I	I	I	II	IV	I	I
15.08.2001	III	I	III	I	I	III	IV	I	I
15.09.2001	III	I	I	I	I	III	IV	I	I
15.10.2001	II	I	I	I	I	II	IV	I	I
15.11.2001	II	II	I	I	I	III	IV	I	II
15.12.2001	II	I	I	I	I	II	IV	I	II
15.01.2002	II	I	I	I	II	II	IV	I	I
15.02.2002	II	I	I	I	I	II	II	I	I

Çizelge 4.3. Düdenbaşı Mevkii izleme istasyonu ölçüm parametrelerine ait su kalitesi sınıfları (Ocak 2001- Şubat 2002) (Erdem 2002)

AYLAR	İstasyon 2 (Düdenbaşı Mevkii)								
Parametreler	Çözülmüş Oksijen (mg/L)	BOİ ₅ (mg/L)	Sıcaklık (°C)	pH	Toplam Çözülmüş Madde (mg/L)	Toplam Fosfor (mg/L)	Fekal Koliform (EMS/100mL)	KOİ (mg/L)	Nitrat Azotu (mg/L)
15.01.2001	I	I	I	I	I	III	II	I	I
15.02.2001	II	I	I	I	I	II	III	I	I
15.03.2001	II	I	I	I	II	II	II	I	I
15.04.2001	II	I	I	I	II	III	III	I	I
15.05.2001	II	I	I	I	II	II	III	I	I
15.06.2001	II	II	I	I	II	II	IV	I	I
15.07.2001	II	I	I	I	II	III	IV	I	I
15.08.2001	II	II	I	I	I	III	IV	I	I
15.09.2001	II	II	I	I	II	III	III	I	I
15.10.2001	III	I	I	I	II	II	IV	I	I
15.11.2001	I	I	I	I	II	IV	IV	I	II
15.12.2001	II	II	I	I	II	IV	IV	I	I
15.01.2002	II	I	I	I	II	III	III	I	II
15.02.2002	II	I	I	I	I	II	III	I	II

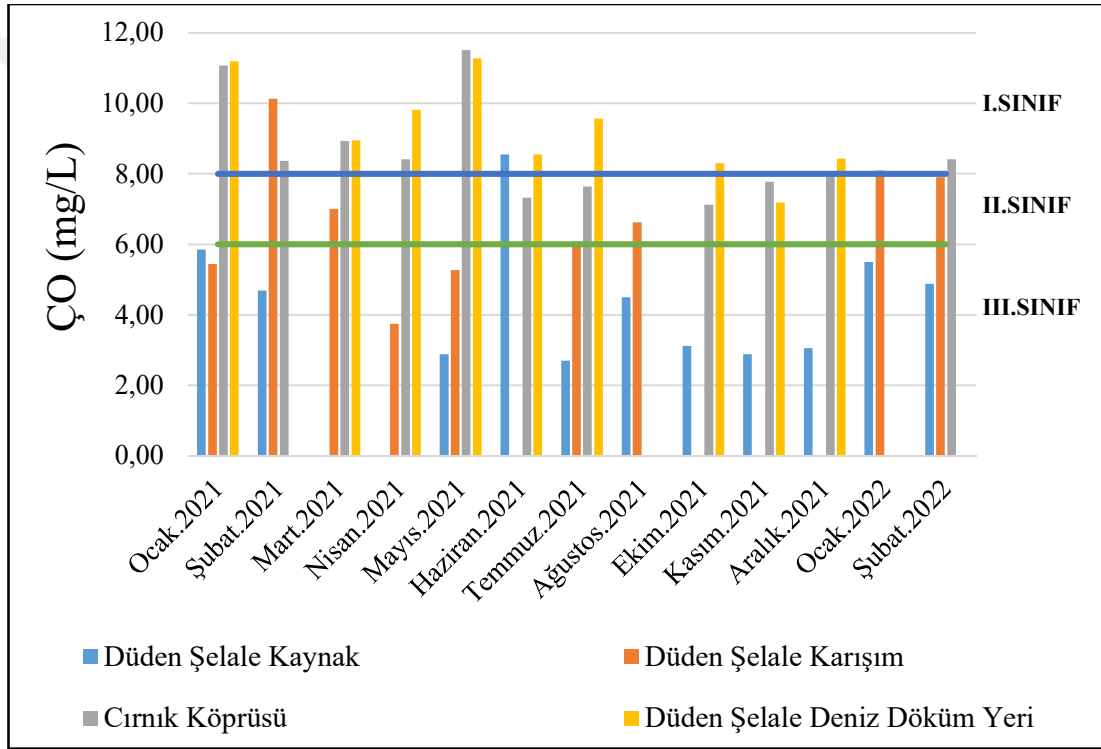
Çizelge 4.4. Koyunlar Regülatörü izleme istasyonu ölçüm parametrelerine ait su kalite sınıfları (Ocak 2001- Şubat 2002) (Erdem 2002)

AYLAR	İstasyon 3 (Koyunlar Regülatörü)								
Parametreler	Çözülmüş Oksijen (mg/L)	BOİ ₅ (mg/L)	Sıcaklık (°C)	pH	Toplam Çözülmüş Madde (mg/L)	Toplam Fosfor (mg/L)	Fekal Koliform (EMS/100mL)	KOİ (mg/L)	Nitrat Azotu (mg/L)
15.01.2001	I	I	I	I	I	IV	II	I	I
15.02.2001	I	I	I	I	I	III	III	I	I
15.03.2001	II	I	I	I	II	II	II	I	I
15.04.2001	II	I	I	I	I	II	III	I	I
15.05.2001	II	I	I	I	II	II	IV	I	I
15.06.2001	II	I	I	I	II	II	IV	I	I
15.07.2001	II	I	I	I	II	III	IV	I	I
15.08.2001	III	I	I	I	I	III	IV	I	I
15.09.2001	III	I	I	I	II	III	III	I	I
15.10.2001	III	I	I	I	II	III	IV	I	II
15.11.2001	I	I	I	I	I	IV	IV	I	II
15.12.2001	II	I	I	I	I	III	IV	I	I
15.01.2002	II	I	I	I	II	II	III	I	I
15.02.2002	II	I	I	I	II	III	III	I	II

Çizelge 4.5. Gençlik Parkı izleme istasyonu ölçüm parametrelerine ait su kalite sınıfları (Ocak 2001- Şubat 2002) (Erdem 2002)

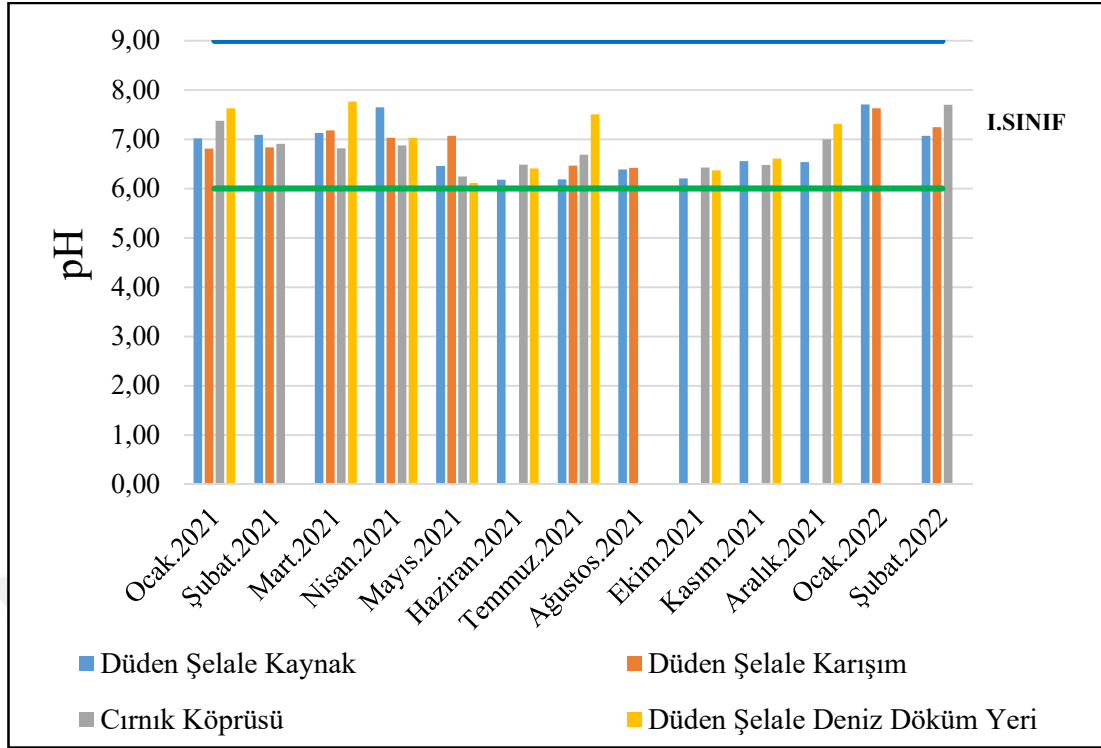
AYLAR	İstasyon 4 (Gençlik Parkı)								
Parametreler	Çözünmüş Oksijen (mg/L)	BOİ ₅ (mg/L)	Sıcaklık (°C)	pH	Toplam Çözünmüş Madde (mg/L)	Toplam Fosfor (mg/L)	Fekal Koliform (EMS/100mL)	KOİ (mg/L)	Nitrat Azotu (mg/L)
15.01.2001	I	I	I	I	I	III	II	I	I
15.02.2001	I	I	I	I	I	III	III	I	I
15.03.2001	II	I	I	I	II	II	II	I	I
15.04.2001	II	II	I	I	I	II	III	I	I
15.05.2001	II	II	I	I	II	III	III	I	I
15.06.2001	II	I	I	I	I	II	III	I	I
15.07.2001	II	II	I	I	I	III	III	I	I
15.08.2001	II	I	I	I	I	III	IV	I	I
15.09.2001	II	I	I	I	II	III	III	I	I
15.10.2001	II	I	I	I	II	III	IV	I	I
15.11.2001	I	I	I	I	I	IV	IV	I	II
15.12.2001	I	I	I	I	II	IV	IV	I	II
15.01.2002	II	I	I	I	II	III	III	I	I
15.02.2002	II	I	I	I	I	II	III	I	I

ASAT tarafından Ocak 2021 - Şubat 2022 arasında Düden Çayı üzerindeki 4 istasyonda örnekleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma süresince izlenen 4 istasyondaki çözünmüş oksijen konsantrasyonları Şekil 4.1’de verilmektedir. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu verilerinin söz konusu izleme periyodunda bazı aylarda bazı istasyonlarda ölçülmediği görülmüştür. En yüksek çözünmüş oksijen konsantrasyonu 2021 Mayıs ayında Cırnık Köprüsü izleme istasyonunda ölçülürken, en düşük ölçüm değerinin ise 2021 Temmuz ayında Düden Şelale Kaynak izleme istasyonunda ölçüldüğü görülmektedir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (16.06.2021, RG: 31513)’ne göre Cırnık Köprüsü ve Düden Şelale Deniz Döküm Yeri çözünmüş oksijen konsantrasyonlarının 2021 Ocak ve Mayıs aylarında I. sınıf (çok iyi) kalitede olduğu görülmüştür. Çözünmüş oksijen konsantrasyonunun Düden Şelale Kaynak izleme istasyonunda 2021 Haziran ayında I. sınıf kalitede, diğer tüm aylarda III. Sınıf (orta) kalitede olduğu görülmektedir.



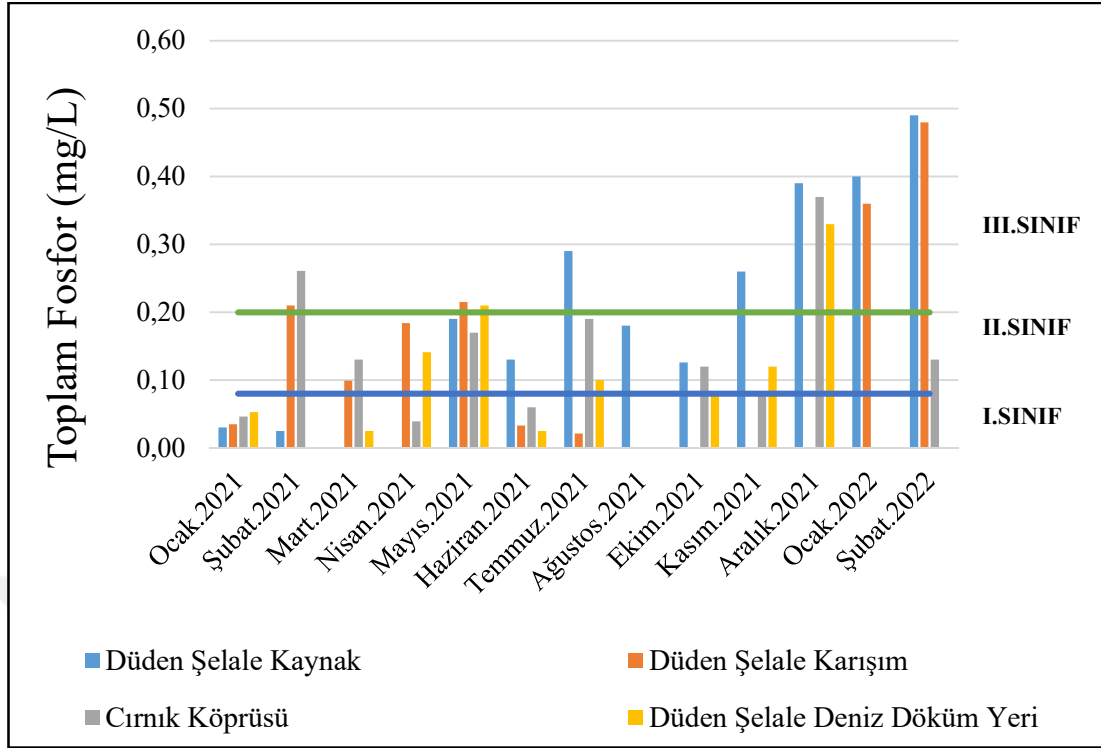
Şekil 4.1. Düden Çayı’nda ölçülen çözünmüş oksijen değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022)

ASAT tarafından Ocak 2021 - Şubat 2022 arasında Düden Çayı üzerindeki 4 istasyonda ölçülen pH değerleri Şekil 4.2’de verilmektedir. Tüm istasyonlar için ölçülen pH değerleri 6.12 - 7.77 aralığında değişmiştir. İzleme periyodu boyunca en yüksek pH değeri 2021 Mart ayında Düden Şelalesi Deniz Döküm Yeri izleme istasyonunda ölçülmüştür. En düşük pH değerinin ise aynı istasyonda 2021 Mayıs ayında ölçüldüğü görülmüştür. YSKY (16.06.2021, RG: 31513) ’ye göre tüm su kalitesi sınıfları için pH aralığı 6-9 olarak aynı şekilde tanımlanmıştır. Tüm ölçüm noktalarında izleme periyodu boyunca pH değerleri YSKY’de belirtilen su kalite sınıflarına göre değerlendirildiğinde I. sınıf, yüksek kaliteli sular sınıfına girmektedir.



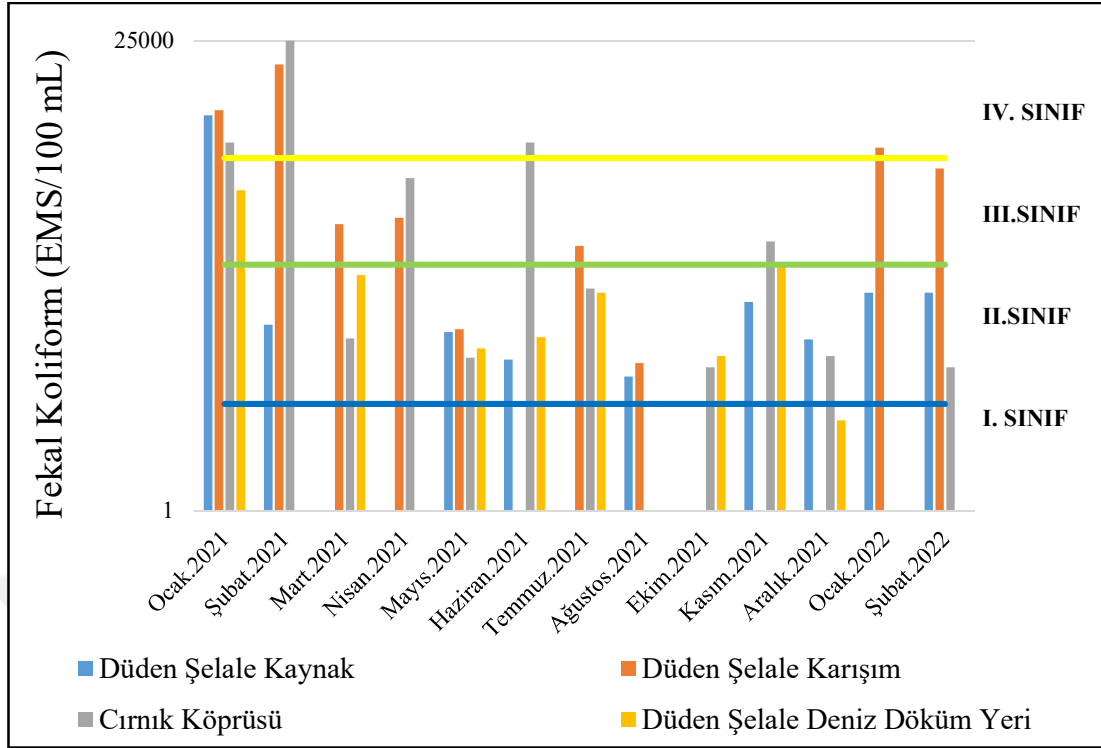
Şekil 4.2. Düden Çayı’nda ölçülen pH değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022)

ASAT tarafından Ocak 2021 - Şubat 2022 arasında Düden Çayı üzerindeki 4 istasyonda ölçülen toplam fosfor konsantrasyonları Şekil 4.3’te verilmektedir. 2021-2022 yılları arasında ölçülen toplam fosfor konsantrasyonları 0.021-0.490 mg/L aralığında değişmektedir. Ölçülen en yüksek toplam fosfor konsantrasyonu Düden Şelale Kaynak izleme istasyonunda 2022 Şubat ayında ve en düşük toplam fosfor konsantrasyonu ise Düden Şelale Karışım izleme istasyonunda 2021 Temmuz ayında ölçülmüştür. Düden Şelale Kaynak ve Düden Şelale Karışım izleme istasyonlarında 2022 Şubat ayında ölçülen toplam fosfor konsantrasyonlarının 2021 Şubat ayına kıyasla oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu da toplam fosfor konsantrasyonlarını arttırıcı bazı kirletici kaynakların Düden Çayı’na girmiş olabileceğini göstermektedir. YSKY (16.06.2021, RG: 31513)’ye göre 2021 Ocak ayında ölçülen toplam fosfor konsantrasyonlarının tüm izleme istasyonları için I. sınıf kalitede olduğu tespit edilmiştir. Düden Şelale Kaynak istasyonunda 2021 Aralık, 2022 Ocak ve Şubat aylarında ölçüm periyodundaki en yüksek toplam fosfor konsantrasyonlarının ölçüldüğü ve III. sınıf kalitede olduğu tespit edilmiştir.



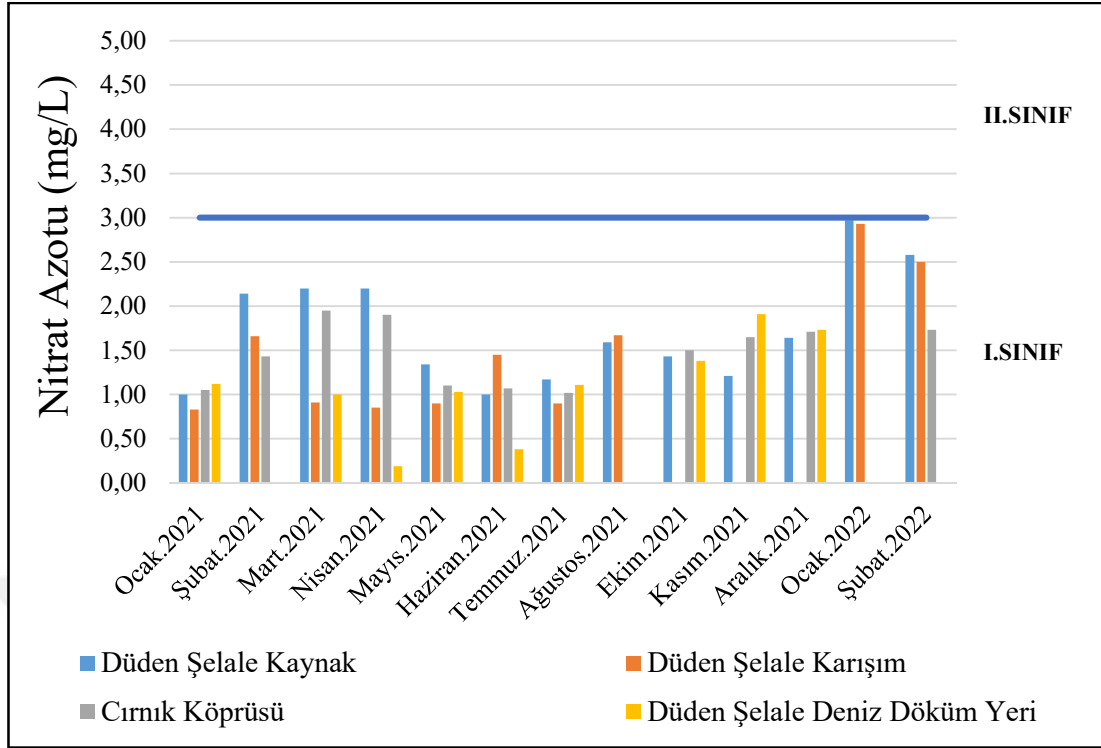
Şekil 4.3. Düden Çayı’nda ölçülen toplam fosfor değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022)

ASAT tarafından Ocak 2021 - Şubat 2022 arasında Düden Çayı üzerindeki 4 istasyonda ölçülen fekal koliform değerleri Şekil 4.4’te verilmektedir. 2021-2022 yıllarında ölçülen fekal koliform değerleri (7 - 25000 EMS/100 mL) aralığında ölçülmüştür. İzleme periyodu boyunca en yüksek fekal koliform değeri Cırnık Köprüsü izleme istasyonunda 2021 Şubat ayında ölçülmüştür. En düşük fekal koliform değeri ise Düden Şelalesi Deniz Döküm Yeri izleme istasyonunda 2021 Aralık ayında ölçülmüştür. Düden Şelale Karışım ve Cırnık Köprüsü izleme istasyonlarında 2021 Şubat ayı ölçüm değerleri 2022 Şubat ayına kıyasla oldukça yüksektir. Bu durum kanalizasyon sisteminden kaçak deşarjların olabileceği ya da bölgedeki hayvancılık ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklı hayvan dışkılarının Düden Çayı’na girmiş olabileceğini göstermektedir. SKKY (13.02.2008; RG: 26786)’ye göre Düden Şelale Karışım izleme istasyonu fekal koliform açısından 2021 Ocak, 2021 Şubat ve 2022 Ocak aylarında IV. sınıf kalitede, Cırnık Köprüsü izleme istasyonunda 2021 Ocak, Şubat ve Haziran aylarında IV. sınıf kalitede ve Düden Şelale Kaynak izleme istasyonunda ise 2021 Ocak ayında IV. sınıf kalitede olduğu tespit edilmiştir.



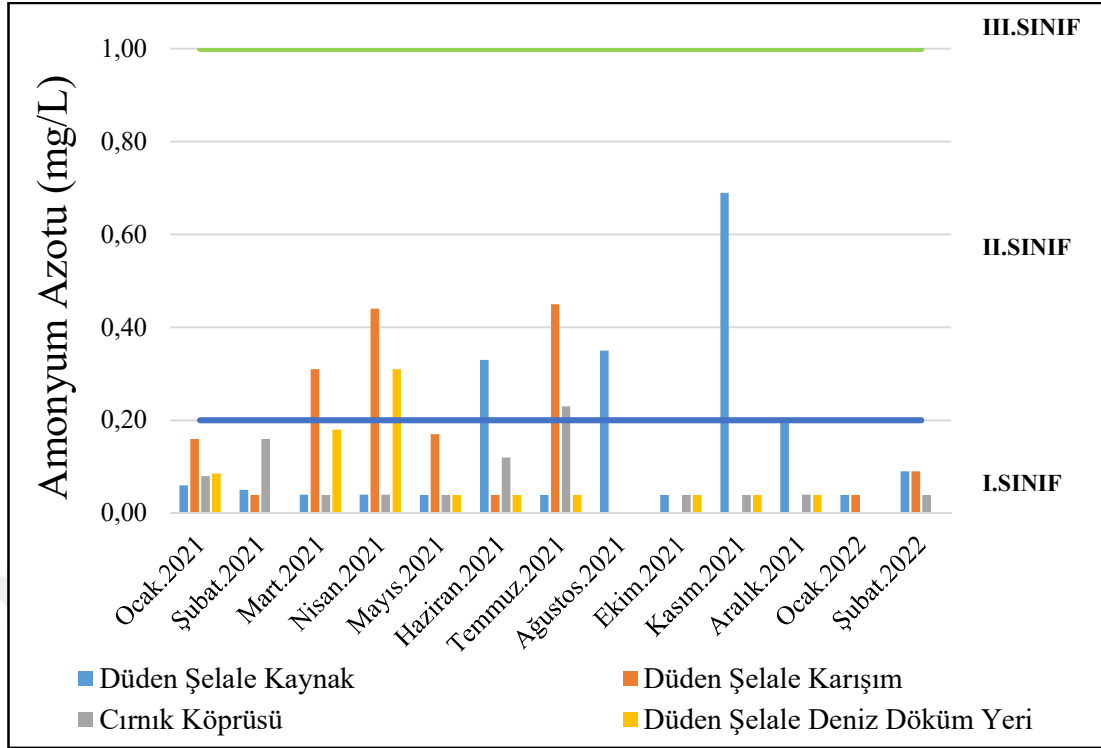
Şekil 4.4. Düden Çayı’nda ölçülen fekal koliform değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022)

ASAT tarafından Ocak 2021 - Şubat 2022 arasında Düden Çayı üzerindeki 4 istasyonda ölçülen nitrat azotu konsantrasyonları Şekil 4.5’te verilmektedir. Çalışma süresince ölçülen nitrat azotu konsantrasyonları 0.19 - 2.97 mg/L aralığında değişim göstermiştir. İzleme periyodu boyunca en yüksek nitrat azotu konsantrasyonu Düden Şelale Kaynak izleme istasyonunda 2022 Ocak ayında, en düşük nitrat azotu konsantrasyonu ise Düden Şelalesi Deniz Döküm Yeri izleme istasyonunda 2021 Nisan ayında ölçüldüğü tespit edilmiştir. YSKY (16.06.2021, RG: 31513) kalite kriterlerine göre izleme yapılan tüm istasyonlarının nitrat azotu açısından I. sınıf (çok iyi) kalitede olduğu tespit edilmiştir.



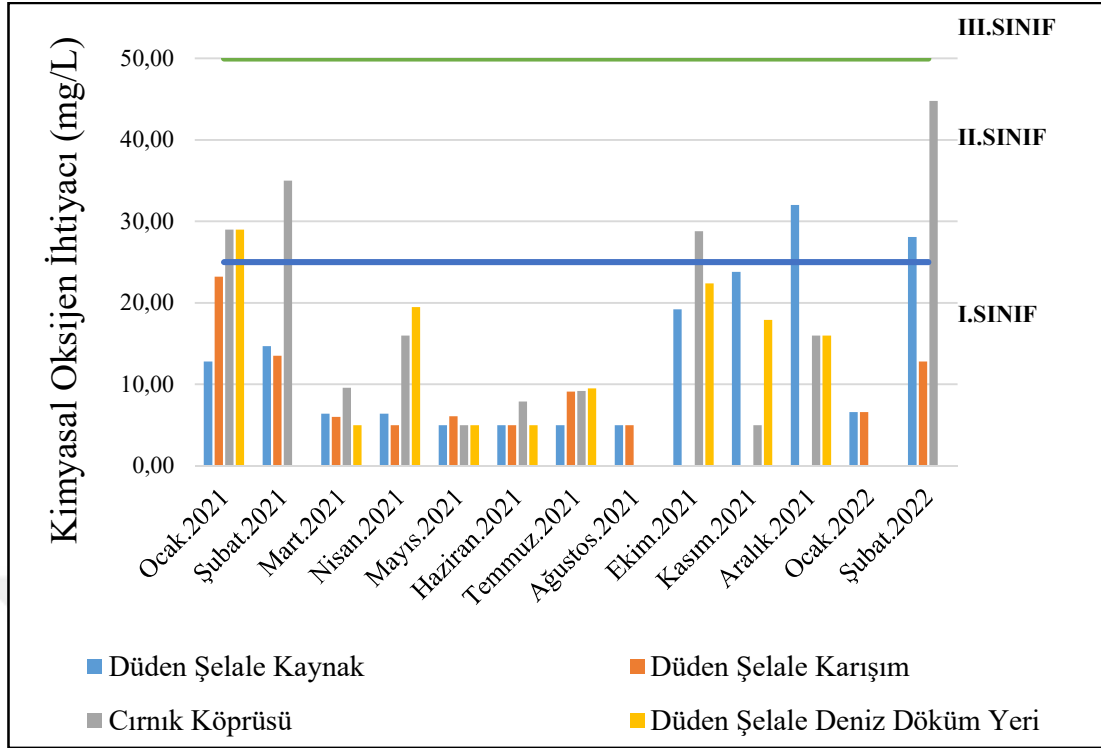
Şekil 4.5. Düden Çayı’nda ölçülen nitrat azotu değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022)

ASAT tarafından Ocak 2021 - Şubat 2022 arasında Düden Çayı üzerindeki 4 istasyonda ölçülen amonyum azotu konsantrasyonları Şekil 4.6’da verilmektedir. Çalışma süresince ölçülen amonyum azotu konsantrasyonları 0.039 - 0.69 mg/L aralığında değişim göstermiştir. En yüksek amonyum azotu konsantrasyonunun Düden Şelale Kaynak izleme istasyonunda 2021 Kasım ayında ölçüldüğü görülmüştür. YSKY (16.06.2021, RG: 31513)’ye göre Düden Şelale Karışım izleme istasyonunda 2021 Mart, Nisan ve Temmuz aylarında Amonyum Azotu II. sınıf kalitede, Düden Şelale Kaynak izleme istasyonunda 2021 Haziran, Ağustos ve Kasım aylarında II. sınıf kalitede, Cırnık Köprüsü izleme istasyonunda 2021 Temmuz ayında II. sınıf kalitede ve Düden Şelalesi Deniz Döküm Yeri izleme istasyonunda ise 2021 Nisan ayında II. sınıf kalitede olduğu tespit edilmiştir.



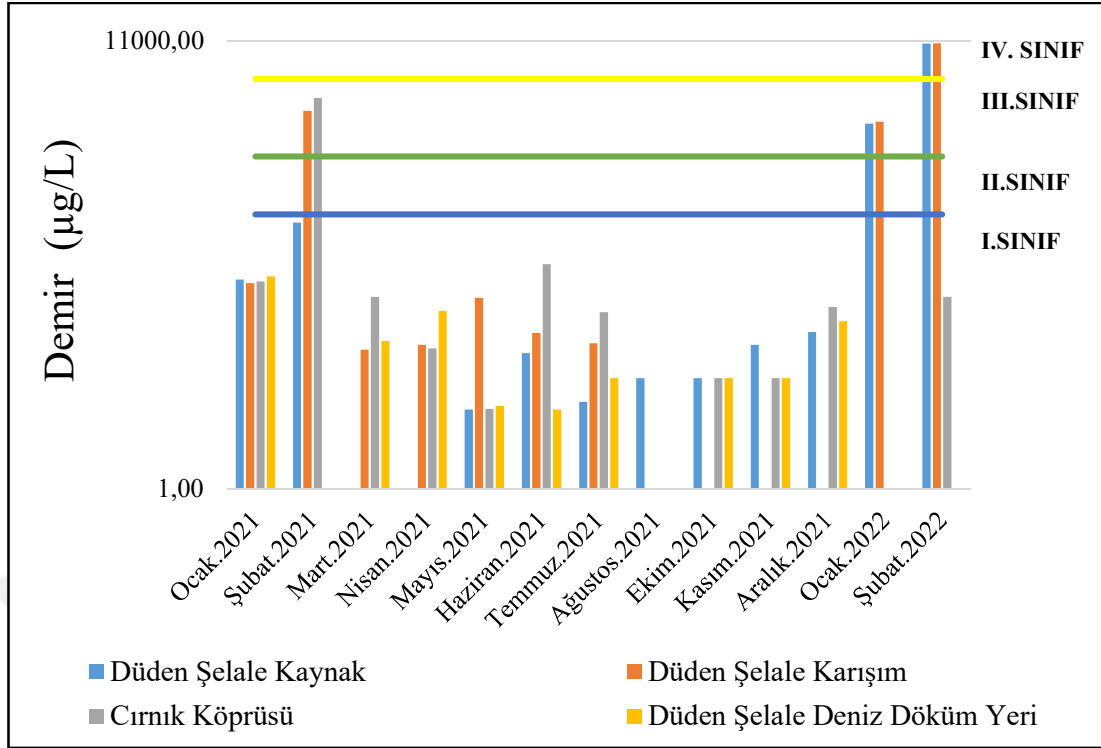
Şekil 4.6. Düden Çayı’nda ölçülen amonyum azotu değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022)

ASAT tarafından Ocak 2021 - Şubat 2022 arasında Düden Çayı üzerindeki 4 istasyonda ölçülen kimyasal oksijen ihtiyacı değerleri Şekil 4.7’de verilmektedir. Çalışma süresince ölçülen kimyasal oksijen ihtiyacı konsantrasyonları 5 - 44.8 mg/L aralığında değişmektedir. İzleme periyodu boyunca en yüksek KOİ konsantrasyonu Cırnık Köprüsü izleme istasyonunda 2022 Şubat ayında ölçülmüştür. Cırnık Köprüsü izleme istasyonunda 2022 Şubat ayı kimyasal oksijen ihtiyacı değerleri 2021 Şubat ayına kıyasla oldukça yüksek ölçülmüş olup KOİ konsantrasyonlarını arttırıcı bazı kirletici kaynakların girmiş olabileceğinin bir göstergesidir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (16.06.2021, RG: 31513)’ne göre kimyasal oksijen ihtiyacı parametresinin Düden Şelale Kaynak izleme istasyonunda 2021 Aralık ve 2022 Şubat aylarında, Cırnık Köprüsü izleme istasyonunda ise 2021 Ocak, Şubat, Ekim ve 2022 Şubat aylarında II. sınıf kalitede olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.7. Düden Çayı’nda ölçülen kimyasal oksijen ihtiyacı değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022)

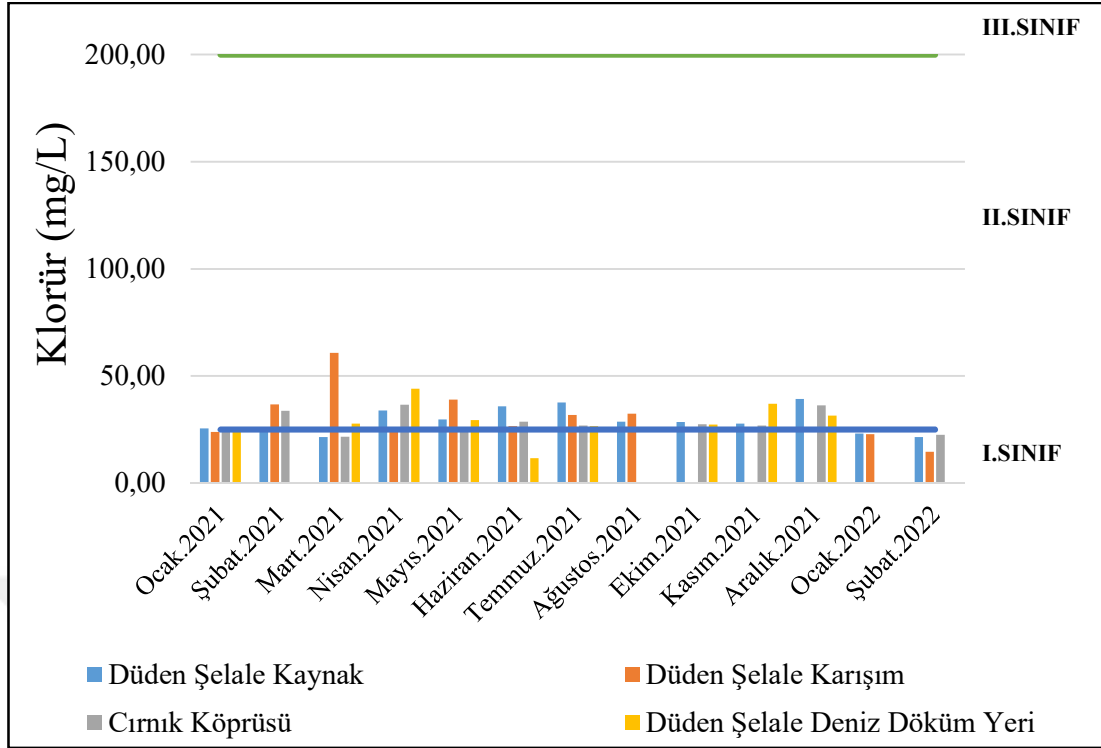
ASAT tarafından Ocak 2021 - Şubat 2022 arasında Düden Çayı üzerindeki 4 istasyonda ölçülen demir konsantrasyonları Şekil 4.8’de verilmektedir. Çalışma süresince ölçülen demir konsantrasyonları 5.2 - 10550 $\mu\text{g/L}$ aralığında değişmektedir. Düden Şelale Kaynak ve Düden Şelale Karışım izleme istasyonlarında 2022 Şubat ayı ölçüm değerleri 2021 Şubat ayına kıyasla oldukça yüksek ölçülmüş olup demir konsantrasyonlarını arttırıcı bazı kirletici kaynakların girmiş olabileceğinin bir göstergesidir. Demir konsantrasyonları metal sanayi tesislerinden, tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübrelerden ve doğada bulunan toprak yapısında bulunmaktadır. Düden Çayı alt havzasında metal endüstri tesisleri, seracılık, hurda depolama alanları, oto tamiri ve parçalarının bulunduğu tesislerin mevcut olduğu bu tesislerin atıksu kaçaklarının olabileceği ve yoğun yağışların etkisi ile yüzeysel akışlarla Düden Çayı’na taşındığı düşünülmektedir. SKKY (13.02.2008; RG: 26786)’ye göre demir parametresinin Düden Şelale Kaynak ve Düden Şelale Karışım izleme istasyonunda 2022 Şubat ayında IV. sınıf kalitede olduğu, 2022 Ocak ayında ise III. sınıf kalitede olduğu tespit edilmiştir. İlkbahar, yaz ve sonbahar aylarında tüm izleme istasyonlarında ölçülen demir konsantrasyonlarının I. sınıf kalitede olduğu tespit edilmiştir.



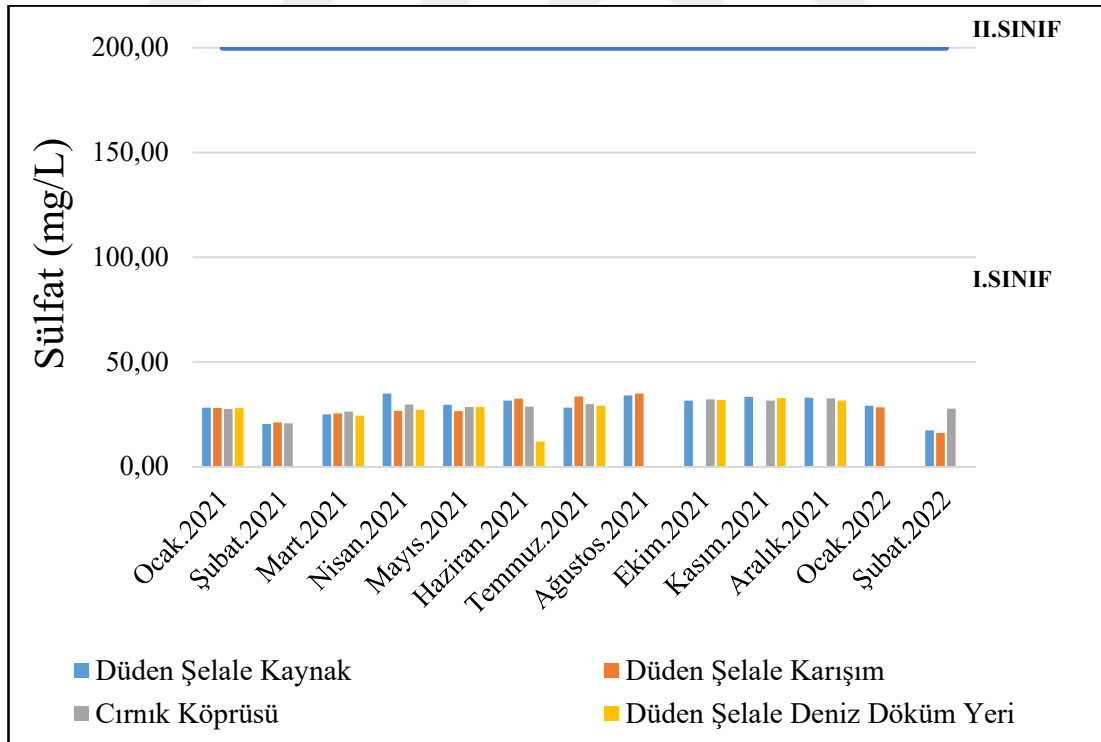
Şekil 4.8. Düden Çayı’nda ölçülen demir değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022)

ASAT tarafından Ocak 2021 - Şubat 2022 arasında Düden Çayı üzerindeki 4 istasyonda ölçülen klorür konsantrasyonlarının dağılımı Şekil 4.9’da verilmektedir. Çalışma süresince ölçülen klorür konsantrasyonları 11.65- 60.81 mg/L aralığında değişmektedir. Ölçülen en yüksek klorür konsantrasyonu Düden Şelale Karışım izleme istasyonunda 2021 Mart ayında, en düşük klorür konsantrasyonu ise Düden Şelale Denize Döküm Yeri izleme istasyonunda 2021 Haziran ayında ölçülmüştür. SKKY (13.02.2008; RG: 26786)’ye göre klorür parametresi Düden Şelale Karışım izleme istasyonunda 2021 Ocak ve Nisan, 2022 Ocak ve Şubat aylarında I. sınıf, diğer tüm aylarda ise II. sınıf kalitede olduğu tespit edilmiştir.

ASAT tarafından Ocak 2021 - Şubat 2022 arasında Düden Çayı üzerindeki 4 istasyonda ölçülen sülfat konsantrasyonlarının dağılımı Şekil 4.10’da verilmektedir. Çalışma süresince ölçülen sülfat konsantrasyonları 11.90- 34.92 mg/L aralığında değişmektedir. İzleme periyodu boyunca en yüksek sülfat konsantrasyonu Düden Şelale Kaynak izleme istasyonunda 2021 Nisan ayında, en düşük sülfat konsantrasyonu ise Düden Şelalesi Denize Döküm Yeri izleme istasyonunda 2021 Haziran ayında ölçülmüştür. SKKY (13.02.2008; RG: 26786) su kalitesi limit değerlerine göre sülfat parametresinin bütün istasyonlarda izleme periyodu boyunca I. sınıf olduğu görülmektedir.



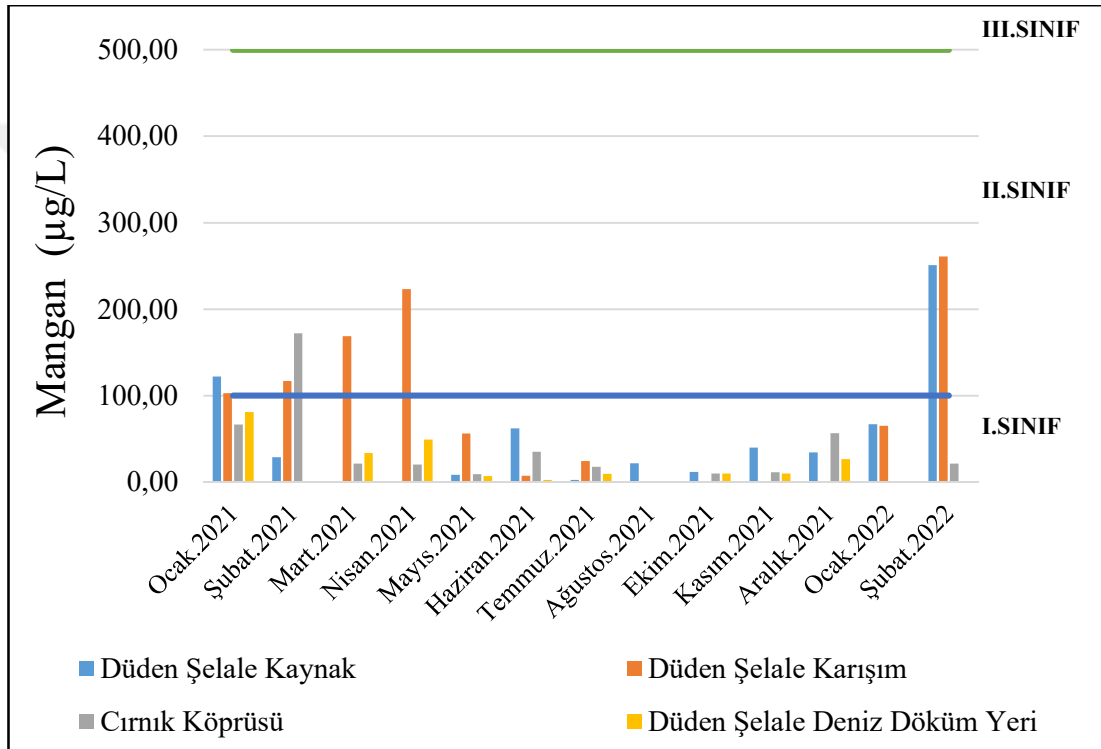
Şekil 4.9. Düden Çayı’nda ölçülen klorür değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022)



Şekil 4.10. Düden Çayı’nda ölçülen sülfat değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022)

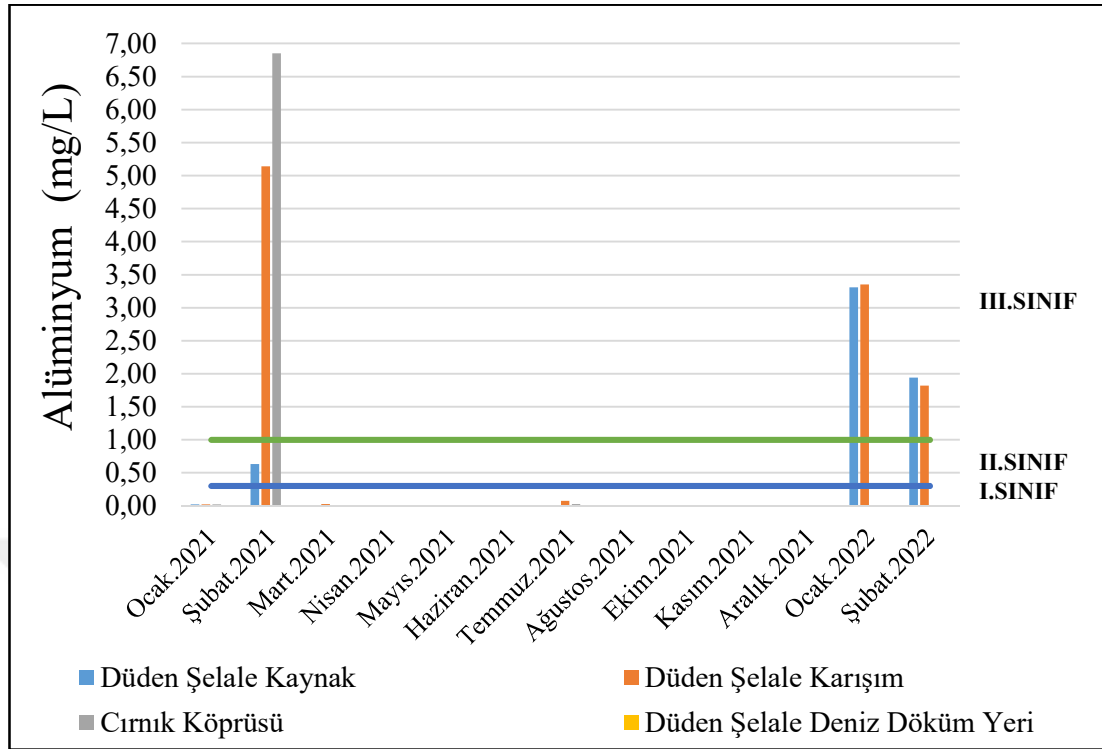
ASAT tarafından Ocak 2021 - Şubat 2022 arasında Düden Çayı üzerindeki 4 istasyonda ölçülen mangan konsantrasyonlarının dağılımı Şekil 4.11’de verilmektedir.

Çalışma süresince ölçülen mangan konsantrasyonları 2.70 - 261.0 µg/L aralığında değişmektedir. Ölçülen en yüksek mangan konsantrasyonu Düden Şelale Karışım izleme istasyonunda 2022 Şubat ayında ölçülmüş olup en düşük mangan konsantrasyonu ise Düden Şelalesi Deniz Döküm Yeri izleme istasyonunda 2021 Haziran ayında ölçülmüştür. Tüm istasyonlar için yapılan ölçümler incelendiğinde, 2021 Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve 2022 Şubat aylarında mangan konsantrasyonunda ciddi bir artışın gözlemlendiği ve Düden Çayı'na karışan kirlenici girişlerinin olduğu görülmektedir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (16.06.2021, RG: 31513)'ne göre mangan parametresinin Cırnık Köprüsü izleme istasyonunda 2021 Şubat ayında II. sınıf (iyi) kalitede, diğer tüm aylarda ise I. sınıf (çok iyi) kalitede olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.11. Düden Çayı'nda ölçülen mangan değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022)

ASAT tarafından Ocak 2021 - Şubat 2022 arasında Düden Çayı üzerindeki 4 istasyonda ölçülen alüminyum konsantrasyonlarının dağılımı Şekil 4.12'de verilmektedir. Çalışma süresince ölçülen alüminyum konsantrasyonları 0.004 - 6.85 mg/L aralığında değişmektedir. Düden Şelale Karışım ve Cırnık Köprüsü izleme istasyonlarında 2021 Şubat ayı ölçüm değerleri 2022 Şubat ayına kıyasla oldukça yüksek ölçülmüş olup alüminyum konsantrasyonlarını arttırıcı bazı kirlenici kaynakların girmiş olabileceğinin bir göstergesidir. SKKY (13.02.2008; RG: 26786)'ye göre kalite kriterlerine göre incelendiğinde alüminyum parametresinin Düden Şelale Kaynak, Düden Şelale Karışım ve Cırnık Köprüsü izleme istasyonlarında 2021 Şubat, 2022 Ocak ve Şubat aylarında IV. sınıf olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.12. Düden Çayı'nda ölçülen alüminyum değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022)

Çizelge 4.6. Ocak 2021-Şubat 2022 periyoduna ait istasyonlar için ölçüm yapılan parametrelerin yıllık ortalamalara göre su kalite sınıfları

Parametreler	pH	Çözülmüş Oksijen (mg/L)	Klorür (mg/L)	Sülfat (mg/L)	Amonyum Azotu (mg/L)	Nitrat Azotu (mg/L)	Toplam Fosfor (mg/L)	KOİ (mg/L)	Demir (µg/L)	Mangan (µg/L)	Alüminyum (mg/L)	Fekal Koliform (EMS/100 mL)
Düden Şelale Kaynak	I	III	II	I	I	I	II	I	III	I	III	III
Düden Şelale Karışım	I	II	II	I	II	I	II	I	III	II	IV	IV
Cırnık Köprüsü	I	I	II	I	I	I	II	I	II	I	III	IV
Düden Şelale Deniz Döküm Yeri	I	I	II	I	I	I	II	I	I	I	I	II

Çizelge 4.7. Düden Şelale Kaynak izleme istasyonu ölçüm parametrelerine ait su kalite sınıfları 2021-2022

AYLAR	Düden Şelale Kaynak											
Parametreler	pH	Çözülmüş Oksijen (mg/L)	Klorür (mg/L)	Sülfat (mg/L)	Amonyum Azotu (mg/L)	Nitrat Azotu (mg/L)	Toplam Fosfor (mg/L)	KOİ (mg/L)	Demir (µg/L)	Mangan (µg/L)	Alüminyum (mg/L)	Fekal Koliform (EMS/100 mL)
18.01.2021	I	III	II	I	I	I	I	I	I	II	I	IV
5.02.2021	I	III	II	I	I	I	I	I	I	I	III	II
17.05.2021	I	III	II	I	I	I	II	I	I	I	I	II
15.06.2021	I	I	II	I	II	I	II	I	I	I	I	II
23.08.2021	I	III	II	I	II	I	II	I	I	I	I	II
6.10.2021	I	III	II	I	I	I	II	I	I	I	I	I
22.11.2021	I	III	II	I	II	I	III	I	I	I	I	II
22.12.2021	I	III	II	I	II	I	III	II	I	I	I	II
10.01.2022	I	III	I	I	I	I	III	I	III	I	IV	II
7.02.2022	I	III	I	I	I	I	III	II	IV	II	IV	II

Çizelge 4.8. Düden Şelale Karışım izleme istasyonu ölçüm parametrelerine ait su kalite sınıfları 2021-2022

AYLAR	Düden Şelale Karışım											
Parametreler	pH	Çözünmüş Oksijen (mg/L)	Klorür (mg/L)	Sülfat (mg/L)	Amonyum Azotu (mg/L)	Nitrat Azotu (mg/L)	Toplam Fosfor (mg/L)	KOİ (mg/L)	Demir (µg/L)	Mangan (µg/L)	Alüminyum (mg/L)	Fekal Koliform (EMS/100 mL)
18.01.2021	I	III	I	I	I	I	I	I	I	II	I	IV
3.02.2021	I	I	II	I	I	I	III	I	III	II	IV	IV
15.03.2021	I	II	II	I	II	I	II	I	I	II	I	III
20.04.2021	I	III	I	I	II	I	II	I	I	II	I	III
3.05.2021	I	III	II	I	I	I	III	I	I	I	I	II
13.07.2021	I	III	II	I	II	I	I	I	I	I	I	III
10.01.2022	I	I	I	I	I	I	III	I	III	I	IV	IV
7.02.2022	I	II	I	I	I	I	III	I	IV	II	IV	III

Çizelge 4.9. Cırnık Köprüsü izleme istasyonu ölçüm parametrelerine ait su kalite sınıfları 2021-2022

AYLAR	Cırnık Köprüsü											
Parametreler	pH	Çözünmüş Oksijen (mg/L)	Klorür (mg/L)	Sülfat (mg/L)	Amonyum Azotu (mg/L)	Nitrat Azotu (mg/L)	Toplam Fosfor (mg/L)	KOİ (mg/L)	Demir (µg/L)	Mangan (µg/L)	Alüminyum (mg/L)	Fekal Koliform (EMS/100 mL)
18.01.2021	I	I	I	I	I	I	I	II	I	I	I	IV
3.02.2021	I	I	II	I	I	I	III	II	III	II	IV	IV
17.05.2021	I	I	II	I	I	I	II	I	I	I	I	II
15.06.2021	I	II	II	I	I	I	I	I	I	I	I	IV
13.07.2021	I	II	II	I	II	I	II	I	I	I	I	II
6.10.2021	I	II	II	I	I	I	II	II	I	I	I	II
3.11.2021	I	II	II	I	I	I	II	I	I	I	I	III
22.12.2021	I	II	II	I	I	I	III	I	I	I	I	II
21.02.2022	I	I	I	I	I	I	II	II	I	I	I	II

Çizelge 4.10. Düden Şelale Deniz Döküm Yeri izleme istasyonu ölçüm parametrelerine ait su kalite sınıfları 2021-2022

AYLAR	Düden Şelale Deniz Döküm Yeri											
Parametreler	pH	Çözülmüş Oksijen (mg/L)	Klorür (mg/L)	Sülfat (mg/L)	Amonyum Azotu (mg/L)	Nitrat Azotu (mg/L)	Toplam Fosfor (mg/L)	KOİ (mg/L)	Demir (µg/L)	Mangan (µg/L)	Alüminyum (mg/L)	Fekal Koliform (EMS/100 mL)
18.01.2021	I	I	I	I	I	I	I	II	I	I	I	III
18.03.2021	I	I	II	I	I	I	I	I	I	I	I	II
20.04.2021	I	I	II	I	II	I	II	I	I	I	I	I
17.05.2021	I	I	II	I	I	I	III	I	I	I	I	II
2.06.2021	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	II
13.07.2021	I	I	II	I	I	I	II	I	I	I	I	II
6.10.2021	I	I	II	I	I	I	II	I	I	I	I	II
22.11.2021	I	II	II	I	I	I	II	I	I	I	I	III
22.12.2021	I	I	II	I	I	I	III	I	I	I	I	I

Ocak 2021- Şubat 2022 periyoduna ait yapılan çalışmada 4 izleme istasyonunda gözlemlenen parametrelerin yıllık ortama değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. İzleme istasyonlarında ölçülen pH, Sülfat, Kimyasal Oksijen İhtiyacı ve Nitrat Azotu parametrelerinin yönetmeliklerdeki sınır değerlerle karşılaştırıldığında tüm izleme istasyonlarında I. sınıf kalitede olduğu görülmüştür. Tüm izleme istasyonlarında ölçülen Klorür ve Toplam Fosfor parametreleri II. sınıf, Düden Şelale Karışım izleme istasyonunda Çözünmüş Oksijen, Amonyum Azotu ve Mangan parametreleri II. sınıf kalitede yer almaktadır. Düden Şelale Karışım ve Cırnık Köprüsü izleme istasyonunda Fekal Koliform IV. sınıf, Düden Şelale Kaynak izleme istasyonunda III. sınıf ve Düden Şelale Denize Döküm Yeri izleme istasyonunda ise II. sınıf kalitede olduğu gözlemlenmiştir. Demir konsantrasyonları Düden Şelale Kaynak ve Düden Şelale Karışım izleme istasyonlarında III. sınıf, Cırnık Köprüsü izleme istasyonunda II. sınıf, Düden Şelale Deniz Döküm Yeri izleme istasyonunda ise I. sınıf kalitede yer almıştır. Alüminyum konsantrasyonlarının Düden Şelale Kaynak ve Cırnık Köprüsü izleme istasyonlarında III. sınıf, Düden Şelale Karışım izleme istasyonunda IV. sınıf ve Düden Şelale Deniz Döküm Yeri izleme istasyonunda ise I. sınıf kalitede olduğu gözlemlenmiştir.

Ocak 2021- Şubat 2022 periyoduna ait 4 izleme istasyonunda gözlemlenen parametrelerin aylık ölçüm değerlerine göre su kalite sınıfları Çizelge 4.7 - Çizelge 4.10'da verilmiştir. İzleme yapılan bütün istasyonlarda Klorür çoğunlukla II. sınıf, Amonyum Azotu Düden Şelale Kaynak ve Düden Şelale Karışım izleme istasyonlarında bazı aylarda II. sınıf kalitede yer almaktadır. Toplam Fosfor parametresinin bütün izleme istasyonlarında bazı aylarda II. ve III. sınıf kalitede olduğu gözlemlenmiştir. Fekal Koliformun, Düden Şelale Kaynak, Cırnık Köprüsü ve Düden Şelale Deniz Döküm Yeri izleme istasyonlarında çoğunlukla II. sınıf ve Düden Şelale Karışım izleme istasyonunda ise çoğunlukla III. sınıf kalitede olduğu gözlemlenmiştir. Çözünmüş Oksijenin Düden Şelale Kaynak izleme istasyonunda genellikle III. sınıf, Düden Şelale Deniz Döküm Yeri izleme istasyonunda genellikle I. sınıf, Düden Şelale Karışım izleme istasyonunda bazı aylarda III. sınıf ve Cırnık Köprüsü izleme istasyonunda ise bazı aylarda II. sınıf kalitede olduğu gözlemlenmiştir.

Bu sonuçlar Düden Şelale Kaynak sonrası Düden Şelale Karışım noktası öncesinde Amonyum Azotu, Mangan ve Fekal Koliform artışına neden olan kirletici girişlerinin mevcut olduğunu göstermektedir. Ayrıca ÇO, Toplam Fosfor ve Demir parametrelerinin Düden Şelale Kaynak noktasında bile limit değerleri aştığı ve bu parametreler açısından Düden Şelale Kaynak noktasından önceki kirletici kaynak girişlerinin kontrol edilmesi gerektiğini göstermektedir.

4.2. Su Kalite İndeks Hesaplamaları

Düden Çayı'nın genel su kalitesini değerlendirebilmek amacıyla Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi, Kanada Su Kalite İndeksi, British Columbia Su Kalite İndeksi ve Oregon Su Kalite İndeksi olmak üzere dört farklı SKİ modeli kullanılmıştır. İndeks modellerinden elde edilen sonuçlar her bir indeks için verilen sınıflandırma ölçekleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

4.2.1. Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks Modeline Göre Değerlendirme

Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks hesaplamasında ihtiyaç duyulan su kalitesi parametreleri; Sıcaklık, pH, Bulanıklık, Fekal Koliform, Çözünmüş Oksijen Doygunluğu (%), Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, Toplam Fosfor, Nitrat ve Toplam Katı Maddedir. Her bir parametreye atanan ağırlık katsayısı değişmekte ve her bir parametrenin sonuca ne derece etki edeceği ağırlık katsayısı ile belirlenmektedir. İndeks hesaplamalarında kullanılmayan parametrelere ait ağırlık katsayılarının mevcut parametrelere dağıtılması gerekmektedir. Bu çalışmada Ocak 2001 - Şubat 2002 periyoduna ait indeks hesaplamalarında Bulanıklık ve Nitrat parametreleri kullanılmamıştır. Bu parametrelere ait toplam etki faktörü, diğer parametrelere dağıtılmış ve uyarlanmıştır. Bu kapsamda Bulanıklık ve Nitrat parametreleri için Çizelge 4.11'de verilen ağırlık değerleri toplamı, orijinal ağırlık faktörü toplamından (1) çıkartılmıştır (4.1).

$$1 - (0.08 + 0.10) = 0.82 \quad (4.1)$$

Hesaplama da kullanılacak parametrelerin yeni etki değerleri toplamı 0.82'dir. Her bir parametrenin bulanıklık ve nitrat parametreleri çıkartıldıktan sonraki yeni ağırlık faktörünü hesaplamak ve ağırlık değerleri toplamını 1 yapabilmek için Denklem 4.2 kullanılmıştır. Her bir parametre için ayrı ayrı hesaplanan yeni ağırlık faktörleri Çizelge 4.11'de gösterilmiştir.

$$W_{\text{Çözünmüş Oksijen\%}} = \frac{\text{Orjinal ağırlık Faktörü}}{\text{Uyarlanmış yeni toplam}} = \frac{0.17}{0.82} = 0.207 \quad (4.2)$$

Çizelge 4.11. Çalışmada Ocak 2001-Şubat 2002 periyoduna ait indeks hesaplamalarında kullanılan yedi parametre için ağırlık faktörleri

Sayı	Parametreler	Orijinal Ağırlık Faktörü (Wi)	Yeni Ağırlık Faktörü (Wi)
1	ÇO Doygunluğu	0.17	0.207
2	Fekal Koliform	0.16	0.195
3	pH	0.11	0.134
4	BOİ ₅	0.11	0.134
5	Su Sıcaklığı	0.10	0.122
6	Nitrat	0.10	-
7	Toplam Fosfor	0.10	0.122
8	Bulanıklık	0.08	-
9	Toplam Katı Madde	0.07	0.085
	Toplam	1	1

Çalışmada Ocak 2021 - Şubat 2022 periyoduna ait indeks hesaplamalarında pH, Fekal Koliform, Toplam Fosfor ve Nitrat parametreleri kullanılmıştır. Diğer parametrelere ait toplam etki faktörü, hesaplamada kullanılan parametrelere dağıtılmış ve uyarlanmıştır. Bu kapsamda Bulanıklık, Çözünmüş Oksijen Doygunluğu, Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, Sıcaklık ve Toplam Katı Madde parametreleri için verilen ağırlık değerleri, orijinal ağırlık faktörü toplamından (1) çıkartılmıştır (4.3).

$$1 - (0.17 + 0.11 + 0.10 + 0.08 + 0.07) = 0.47 \quad (4.3)$$

Hesaplamada kullanılacak parametrelerin yeni etki değerleri toplamı 0.47'dir. Denklem 4.4 kullanılarak yeni ağırlık faktörleri her bir parametre için ayrı ayrı hesaplanmış ve Çizelge 4.12'de gösterilmiştir.

$$W_{\text{Çözünmüş Oksijen}\%} = \frac{\text{Orijinal ağırlık Faktörü}}{\text{Uyarlanmış yeni toplam}} = \frac{0.16}{0.47} = 0.340 \quad (4.4)$$

Çizelge 4.12. Çalışmada Ocak 2021-Şubat 2022 periyoduna ait indeks hesaplamalarında kullanılan dört parametre için ağırlık faktörleri

Sayı	Parametreler	Orijinal Ağırlık Faktörü (Wi)	Yeni Ağırlık Faktörü (Wi)
1	ÇO Doygunluğu	0.17	-
2	Fekal Koliform	0.16	0.340
3	pH	0.11	0.234
4	BOİ ₅	0.11	-
5	Su Sıcaklığı	0.10	-
6	Nitrat	0.10	0.213
7	Toplam Fosfor	0.10	0.213
8	Bulanıklık	0.08	-
9	Toplam Katı Madde	0.07	-
	Toplam	1	1

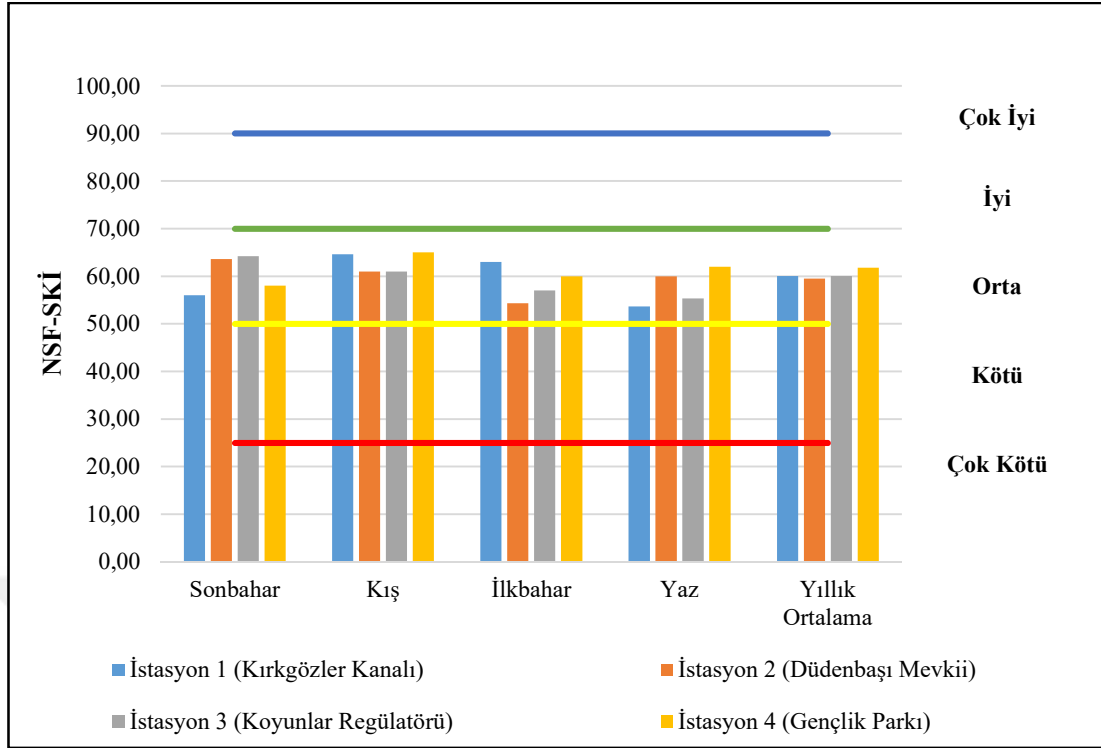
Çizelge 4.11 - Çizelge 4.12'deki yeni ağırlık faktörlerinin, elde edilen analiz sonuçlarına karşılık gelen sub-indeks (Q) değerleri ile (Şekil 3.13 - Şekil 3.20'de bulunan) çarpılarak toplanması sonucu Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeks değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 4.22'de verilen sınıflandırma ölçeğine göre toplam su kalitesi indeks değerlerine karşılık gelen su kalite sınıfları belirlenmiştir. Düden Çayı için 2001-2002 ve 2021-2022 periyotlarına ait su kalitesi analiz sonuçları kullanılarak Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi mevsimsel bazda hesaplanmış olup her bir istasyona ait su kalite indeks sonuçları ve kalite sınıfları Çizelge 4.13 - Çizelge 4.14'de verilmektedir.

NSF-SKİ modelinin Düden Çayı'na 2001-2002 aralığındaki veriler kullanılarak uygulanması sonucunda tüm izleme istasyonlarının her mevsimde "Orta" su kalite sınıfında olduğu ve 53.67 - 65.00 aralığında değerler aldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.13). Su kalite indeks değerlerindeki mevsimsel değişim değerlendirildiğinde bütün mevsimlerde "Orta" su kalite sınıfını göstermekle birlikte indeks değerlerinin Sonbahar ve Kış mevsimlerinde diğer mevsimlere kıyasla arttığı görülmektedir.

NSF-SKİ modelinin Düden Çayı'na 2021-2022 aralığında uygulanmasıyla tüm izleme istasyonlarındaki indeks değerlerinin mevsimsel olarak değişimi değerlendirildiğinde Düden Şelale Kaynak ve Düden Şelale Deniz Döküm Yeri izleme istasyonlarında tüm mevsimlerde "İyi" su kalite sınıfında olduğu görülmektedir (Şekil 4.14). Düden Şelale Karışım izleme istasyonunun ilkbahar mevsiminde "İyi" su kalite sınıfında, kış ve yaz mevsiminde "Orta" su kalite sınıfında olduğu görülmektedir. Söz konusu istasyon için sonbahar mevsimine ait ölçüm değerleri olmadığından indeks değerleri hesaplanamamıştır. Cırnık Köprüsü izleme istasyonunun sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerinde "İyi" su kalite sınıfında, yaz mevsiminde "Orta" su kalite sınıfında olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.13. Düden Çayı izleme istasyonlarına ait NSF-SKİ hesaplama sonuçları ve kalite sınıfları (2001-2002)

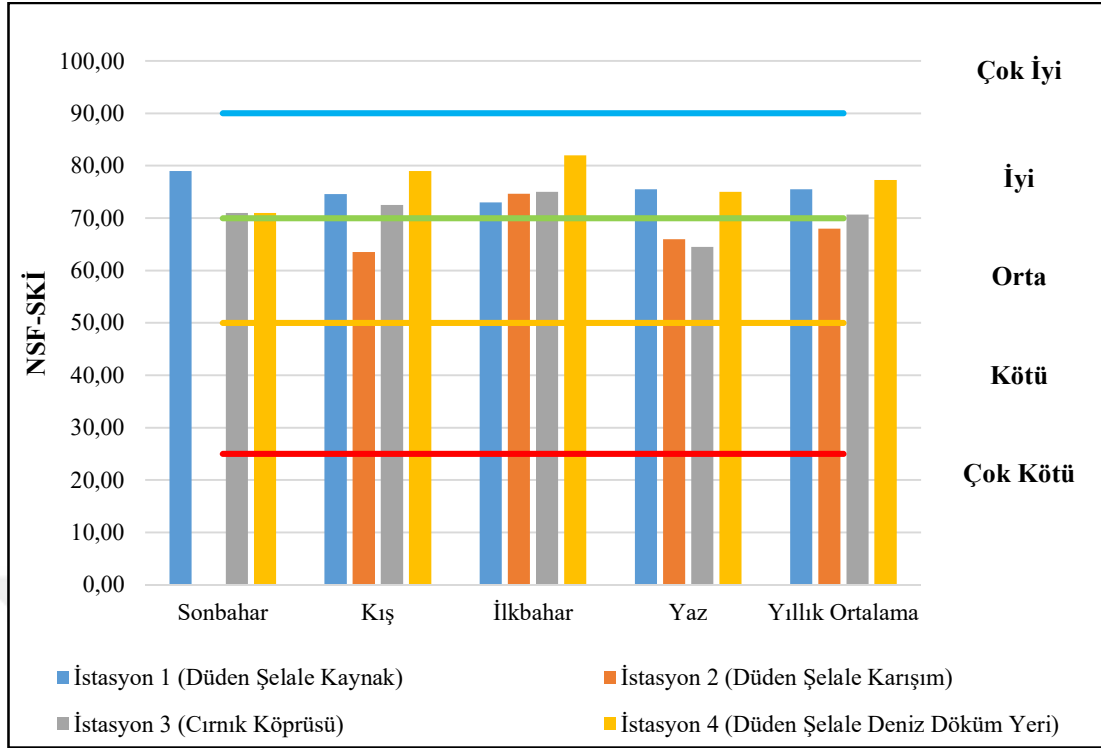
İstasyonlar	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz	Yıllık Ortalama
İstasyon 1 (Kırkgözler Kanalı)	56.00 (Orta)	64.60 (Orta)	63.00 (Orta)	53.67 (Orta)	60.07 (Orta)
İstasyon 2 (Düdenbaşı Mevkii)	63.60 (Orta)	61.00 (Orta)	54.33 (Orta)	60.00 (Orta)	59.50 (Orta)
İstasyon 3 (Koyunlar Regülatörü)	64.20 (Orta)	61.00 (Orta)	57.00 (Orta)	55.33 (Orta)	60.07 (Orta)
İstasyon 4 (Gençlik Parkı)	58.00 (Orta)	65.00 (Orta)	60.00 (Orta)	62.00 (Orta)	61.79 (Orta)



Şekil 4.13. Düden Çayı izleme istasyonlarının tüm mevsimler için NSF-SKİ değerleri (2001-2002)

Çizelge 4.14. Düden Çayı izleme istasyonlarına ait NSF-SKİ hesaplama sonuçları ve kalite sınıfları (2021-2022)

İstasyonlar	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz	Yıllık Ortalama
İstasyon 1 (Düden Şelale Kaynak)	79.00 (İyi)	74.60 (İyi)	73.00 (İyi)	75.50 (İyi)	75.50 (İyi)
İstasyon 2 (Düden Şelale Karışım)	(Ölçüm Yok)	63.50 (Orta)	74.67 (İyi)	66.00 (Orta)	68.00 (Orta)
İstasyon 3 (Cıvrık Köprüsü)	71.00 (İyi)	72.50 (İyi)	75.00 (İyi)	64.50 (Orta)	70.70 (İyi)
İstasyon 4 (Düden Şelale Deniz Döküm Yeri)	71.00 (İyi)	79.00 (İyi)	82.00 (İyi)	75.00 (İyi)	77.30 (İyi)



Şekil 4.14. Düden Çayı izleme istasyonlarının tüm mevsimler için NSF-SKİ değerleri (2021-2022)

4.2.2. Kanada Çevre Bakanlığı Konseyi Su Kalite İndeks Modeline Göre Değerlendirme

CCME-SKİ değerinin hesaplanması için Ocak 2001 - Şubat 2002 periyoduna ait 7 adet su kalite parametresi (pH, Sıcaklık, Çözünmüş Oksijen, Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, Toplam Fosfor, Toplam Çözünmüş Madde ve Fekal Koliform) kullanılmıştır. Ocak 2021 - Şubat 2022 periyodu için ise 12 adet su kalite parametresi (pH, Çözünmüş Oksijen, Toplam Fosfor, Toplam Çözünmüş Madde, Kimyasal Oksijen İhtiyacı, Amonyum Azotu, Nitrat Azotu, Fekal Koliform, Klorür, Sülfat, Demir, Mangan ve Alüminyum) kullanılmıştır. CCME-SKİ modelinin hesaplamasında parametre kısıtlaması yoktur. Ancak hesaplamada kullanılacak en az dört parametre ve bu parametrelere ait en az dört ölçüm değerinin olması gerekmektedir (Bilgin 2018). Çalışmada kullanılan parametrelerin hedef değerlerinin belirlenmesinde II. Sınıf (İyi) su kalitesi sınır değerleri dikkate alınmıştır. Çizelge 4.15'te CCME-SKİ hesaplamasında kullanılan su kalitesi parametreleri ve bu parametrelere ait ilgili yönetmelikte yer alan sınır değerler verilmiştir.

Çizelge 4.15. CCME-SKİ ve BC-SKİ hesaplamalarında kullanılan parametreler ve yönetmelik limit değerleri

Parametre	II. Sınıf	Referans
pH	6-9	Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, 2021
Çözünmüş oksijen (mg/L)	6.00	
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) (mg/L)	50.00	
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ ₅) (mg/L)	8.00	
Amonyum azotu (mg NH ₄ ⁺ -N/L)	1.00	
Nitrat azotu (mg NO ₃ ⁻ -N/L)	10.00	
Toplam fosfor (mg P/L)	0.20	
Mangan (µg/L)	500.00	
Çözünmüş oksijen doygunluğu (%)	70.00	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 2004
Toplam çözünmüş madde (mg/L)	1500.00	
Alüminyum (mg Al/L)	0.30	
Demir (µg Fe/L)	1000.00	
Sıcaklık (°C)	25.00	
Fekal koliform (EMS/100 mL)	200.00	
Klorür iyonu (mg Cl ⁻ /L)	200.00	
Sülfat iyonu (mg SO ₄ ⁼ /L)	200.00	

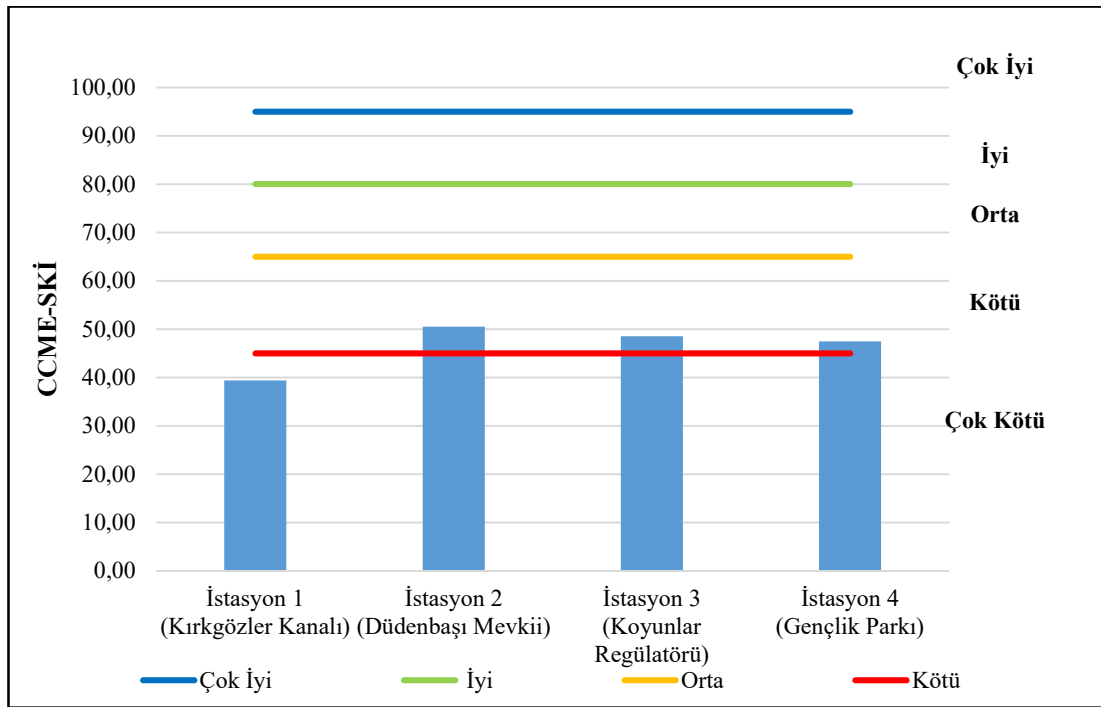
CCME-SKİ modeli hesaplamasında sırasıyla; hedefleri karşılamayan parametre sayısı, toplam test sayısı, başarısız test sayısı, F1, F2, sapmalar toplamı, nse ve son olarak F3 değerleri hesaplanmıştır. Düden Çayı için Ocak 2001- Şubat 2002 ve Ocak 2021-Şubat 2022 periyotlarına ait su kalitesi analiz sonuçları kullanılarak CCME-SKİ modeli için istasyon bazlı ayrı ayrı kalite indeks değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.16 - Çizelge 4.17). CCME-SKİ modelinin Düden Çayı'na (2001-2002) uygulanması sonucunda tüm izleme istasyonlarına ait hesaplanan indeks değerleri ve kalite sınıfları Şekil 4.15'te verilmiştir. Sonuçlar, Kırkgözler Kanalı izleme istasyonunda su kalitesinin “Çok Kötü” diğer üç izleme istasyonunda ise “Kötü” sınıfta olduğunu göstermiştir. Düden Çayı'na uygulanan CCME-SKİ modelinin Ocak 2021- Şubat 2022 periyoduna ait hesaplama sonuçları incelendiğinde ise Düden Şelale Kaynak izleme istasyonunda su kalitesinin “Orta”, Düden Şelale Karışım ve Cırnık Köprüsü izleme istasyonlarında “Kötü” ve Düden Şelale Deniz Döküm Yeri izleme istasyonunda ise “İyi” sınıfta olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.16).

Ocak 2001 - Şubat 2002 periyoduna ait indeks sonuçlarına göre 1. istasyon olan Kırkgözler Kanalı'nda su kalite durumunun diğer istasyonlardan daha düşük kalitede olduğu ve su kalite sınıfının “Çok kötü” olduğu görülmüştür. Bu sebeple, Kırkgözler Kanalı izleme istasyonunun etrafındaki ve öncesindeki kirletici kaynaklara odaklanması gerektiği izlenimine varılmıştır. Ocak 2021 - Şubat 2022 periyoduna ait indeks

sonuçlarına göre, Düden Şelale Kaynak noktasında su kalitesinin Orta durumda olduğu görülmüştür. Ancak bundan sonraki istasyonlarda (2. ve 3. İstasyonlar) su kalitesi kötüleşmiştir. Bu durum 1. ve 2. istasyonlar arasında bir takım kirletici kaynakların bulunduğunu ve su kalitesinin kötüleşmesine neden olduğunu göstermektedir. Parametre bazında yapılan değerlendirmelerde elde edilen sonuçlar, Düden Şelale Karışım ve Cırnık Köprüsü izleme istasyonlarının kirletici kaynaklara maruz kaldığını destekler niteliktedir. Düden Şelale Deniz Döküm Yeri izleme istasyonunda ise su kalitesinin iyileştiği görülmektedir.

Çizelge 4.16. Düden Çayı 2. sınıf su kalitesi için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış CCME-SKİ değerleri ve kalite sınıfları (Ocak 2001-Şubat 2002)

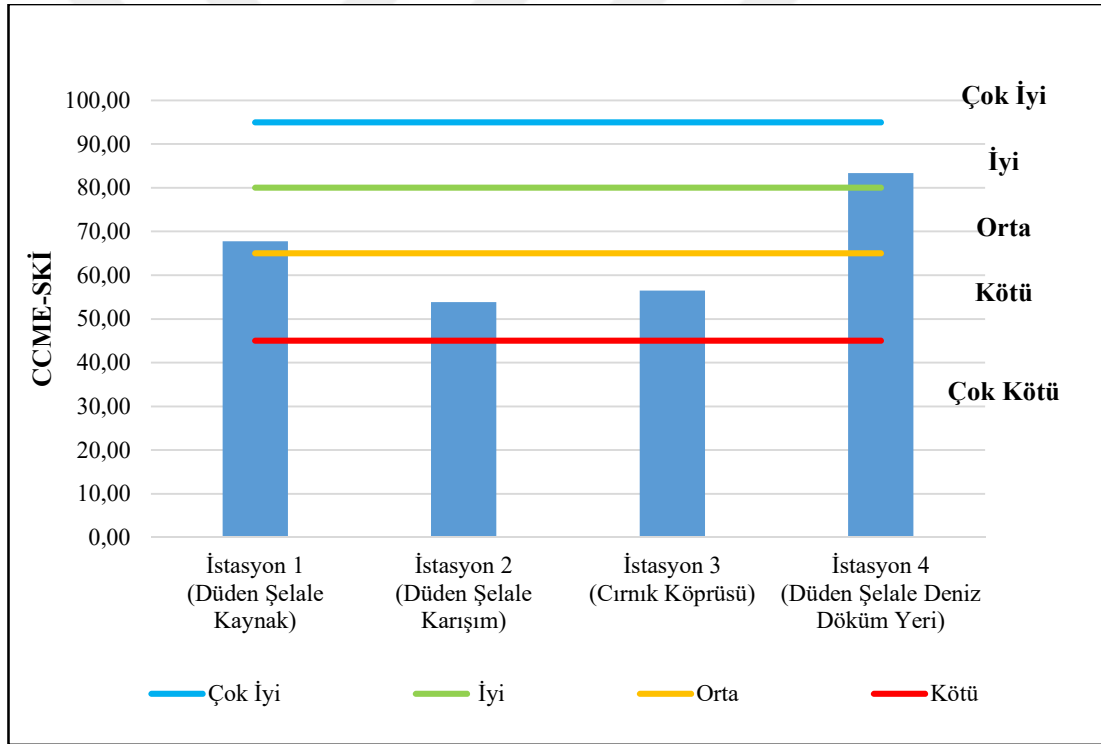
İstasyonlar	F1	F2	F3	Kalite İndeks Değeri	Kalite Sınıfı
İstasyon 1 (Kırkgözler Kanalı)	57.14	22.45	85.15	39.39	Çok Kötü
İstasyon 2 (Düdenbaşı Mevkii)	42.86	23.47	70.42	50.51	Kötü
İstasyon 3 (Koyunlar Regülatörü)	42.86	27.55	73.17	48.52	Kötü
İstasyon 4 (Gençlik Parkı)	42.86	26.53	75.75	47.47	Kötü



Şekil 4.15. Düden Çayı 2. Sınıf su kullanımları için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış CCME-SKİ değerleri (Ocak 2001-Şubat 2002)

Çizelge 4.17. Düden Çayı 2. sınıf su kalitesi için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış CCME-SKİ değerleri ve kalite sınıfları (Ocak 2021-Şubat 2022)

İstasyonlar	F1	F2	F3	Kalite İndeks Değeri	Kalite Sınıfı
İstasyon 1 (Düden Şelale Kaynak)	41.67	16.67	33.13	67.79	Orta
İstasyon 2 (Düden Şelale Karışım)	41.67	23.96	63.94	53.82	Kötü
İstasyon 3 (Cırnık Köprüsü)	41.67	10.19	61.99	56.48	Kötü
İstasyon 4 (Düden Şelale Deniz Döküm Yeri)	25.00	11.11	5.48	83.39	İyi



Şekil 4.16. Düden Çayı 2. Sınıf su kullanımları için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış CCME-SKİ değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022)

4.2.3. British Columbia Su Kalite İndeks Modeline Göre Değerlendirme

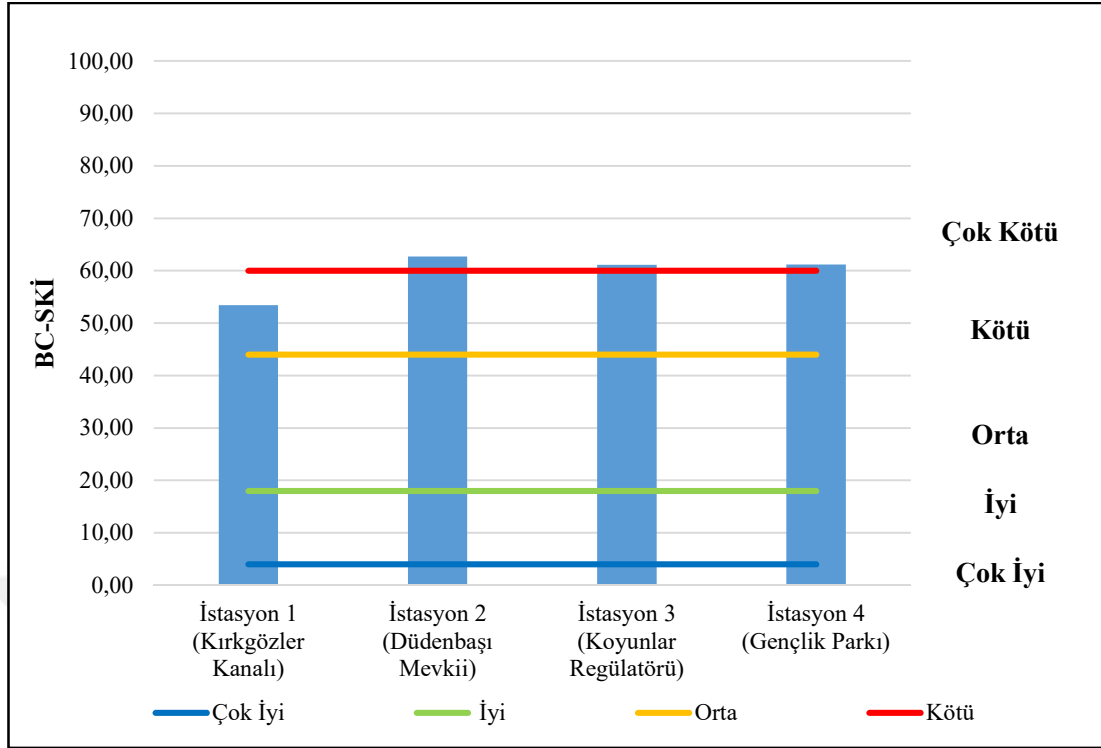
BC-SKİ hesaplamaları için Ocak 2001- Şubat 2002 periyoduna ait 7 adet su kalitesi parametresi (pH, Sıcaklık, Çözünmüş Oksijen, Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, Toplam Fosfor, Toplam Çözünmüş Madde ve Fekal Koliform) kullanılmıştır. Ocak 2021

- Şubat 2022 periyodu için ise 12 adet su kalitesi parametresi (pH, Çözünmüş Oksijen, Toplam Fosfor, Toplam Çözünmüş Madde, Kimyasal Oksijen İhtiyacı, Amonyum Azotu, Nitrat Azotu, Fekal Koliform, Klorür, Sülfat, Demir, Mangan ve Alüminyum) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan parametrelerin hedef değerlerinin belirlenmesinde II. Sınıf (İyi) su kalitesi sınır değerleri dikkate alınmıştır. Çizelge 4.15'te BC-SKİ hesaplamasında kullanılan su kalitesi parametreleri ve bu parametrelere ait ilgili yönetmelikte yer alan sınır değerler verilmiştir.

BC-SKİ modeli hesaplamasında sırasıyla; hedefleri karşılamayan parametre sayısı, toplam test sayısı, başarısız test sayısı, F1, F2, sapmalar toplamı, nse ve son olarak F3 değerleri hesaplanmıştır. Düden Çayı için Ocak 2001 - Şubat 2002 ve Ocak 2021 - Şubat 2022 periyotlarına ait su kalitesi analiz sonuçları kullanılarak British Columbia Su Kalite İndeks modeli için istasyon bazlı kalite indeks değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.18 - Çizelge 4.19). Düden Çayı'na uygulanan BC-SKİ modelinin Ocak 2001 - Şubat 2002 periyoduna ait hesaplama sonuçları incelendiğinde, Kırkgözler Kanalı izleme istasyonunda su kalitesinin “Kötü” diğer üç izleme istasyonunda ise “Çok Kötü” sınıfta olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.17). Düden Çayı'na uygulanan BC-SKİ modelinin Ocak 2021 - Şubat 2022 periyotlarına ait hesaplama sonuçları incelendiğinde ise tüm izleme istasyonlarında su kalitesinin “Çok Kötü” sınıfta olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.18). Bu sonuçlar bütün istasyonlarda SÇD hedefleri ile örtüşen “İyi” su kalite sınıfına ulaşılabilmesi için acil önlemler alınması gerektiğini göstermektedir. Ocak 2021- Şubat 2022 BC-SKİ değerleri incelendiğinde daha mansapta yer alan Düden Şelale Deniz Döküm Yeri'ndeki değer diğer istasyonlardan önemli ölçüde yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.18. Düden Çayı 2. sınıf su kalitesi için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış BC-SKİ değerleri ve kalite sınıfları (Ocak 2001-Şubat 2002)

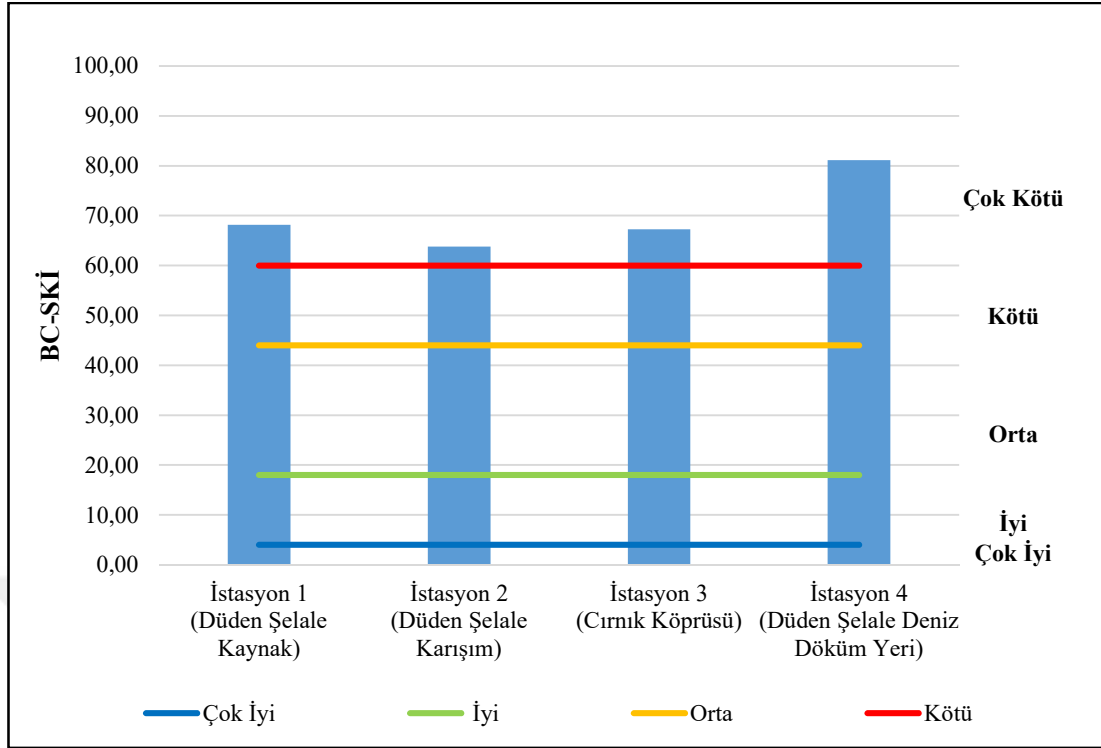
İstasyonlar	F1	F2	F3	Kalite İndeks Değeri	Kalite Sınıfı
İstasyon 1 (Kırkgözler Kanalı)	57.14	22.45	28.39	53.45	Kötü
İstasyon 2 (Düdenbaşı Mevkii)	42.86	23.47	23.50	62.69	Çok Kötü
İstasyon 3 (Koyunlar Regülatörü)	42.86	27.55	24.42	61.12	Çok Kötü
İstasyon 4 (Gençlik Parkı)	42.86	26.53	25.28	61.19	Çok Kötü



Şekil 4.17. Düden Çayı 2. Sınıf su kalitesi için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış BC-SKİ değerleri (Ocak 2001-Şubat 2002)

Çizelge 4.19. Düden Çayı 2. sınıf su kalitesi için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış BC-SKİ değerleri ve kalite sınıfları (Ocak 2021-Şubat 2022)

İstasyonlar	F1	F2	F3	Kalite İndeks Değeri	Kalite Sınıfı
İstasyon 1 (Düden Şelale Kaynak)	41.67	16.67	11.04	68.19	Çok Kötü
İstasyon 2 (Düden Şelale Karışım)	41.67	23.96	21.31	63.82	Çok Kötü
İstasyon 3 (Cırnık Köprüsü)	41.67	10.19	20.66	67.23	Çok Kötü
İstasyon 4 (Düden Şelale Deniz Döküm Yeri)	25.00	11.11	1.83	81.13	Çok Kötü



Şekil 4.18. Düden Çayı 2. Sınıf su kalitesi için verilen sınır değerlere göre hesaplanmış BC-SKİ değerleri (Ocak 2021-Şubat 2022)

4.2.4. Oregon Su Kalite İndeks Modeline Göre Değerlendirme

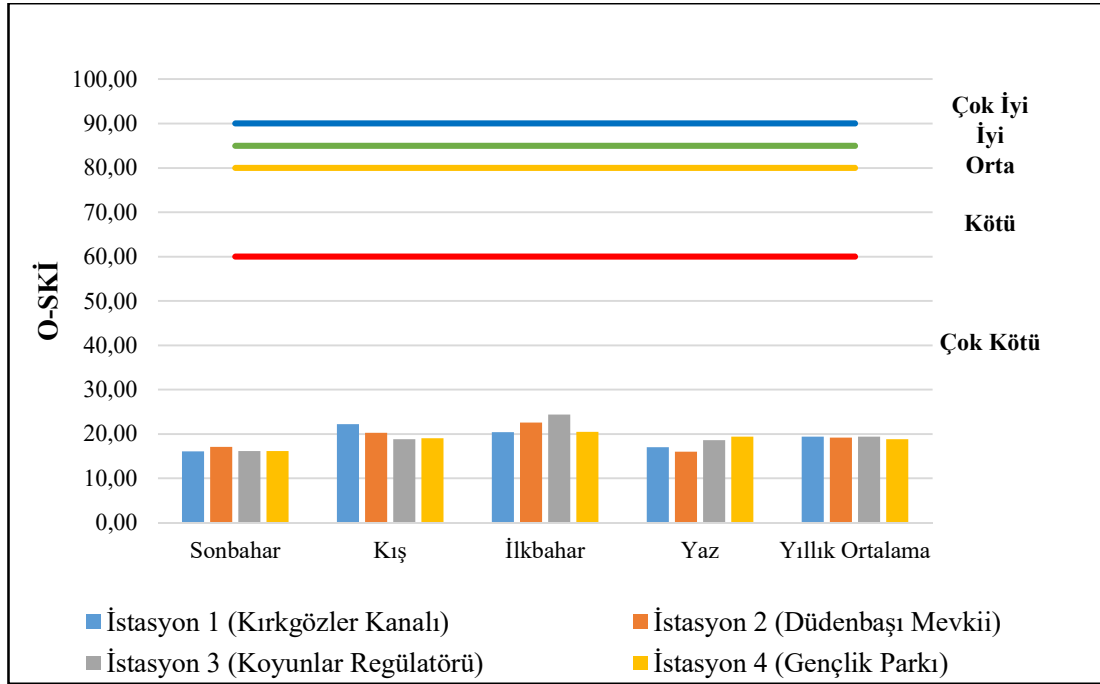
Oregon Su Kalite İndeks modeli (O-SKİ) hesaplamalarında sekiz adet su kalite parametresi kullanılmaktadır. Bu çalışmada Ocak 2001 – Şubat 2002 periyoduna ait indeks hesaplamalarında 7 adet su kalite parametresi (pH, Sıcaklık, Çözünmüş Oksijen, Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, Toplam Katı Madde, Toplam Fosfor ve Fekal Koliform) kullanılmıştır. Ocak 2021- Şubat 2022 yıllarına ait indeks hesaplamalarında ise 5 adet su kalite parametresi (pH, Çözünmüş Oksijen, Toplam Fosfor, Amonyum Azotu + Nitrat Azotu ve Fekal Koliform) kullanılmıştır. İndeks değerlerini hesaplamak için Eşitlik 2.11’de nihai değer, işleme dahil edilen parametre sayısına bölünerek hesaplama yapılmıştır. O-SKİ hesaplamalarında tüm mevsimler için tüm istasyonlara su kalite indeks değerleri ve sınıfları Çizelge 4.20 ve Çizelge 4. 21’de verilmiştir.

O-SKİ modelinin Düden Çayı’na 2001-2002 yılları aralığında uygulanması sonucunda tüm izleme istasyonlarındaki indeks değerlerinin mevsimsel olarak değişimi değerlendirilmiştir (Şekil 4.19). Elde edilen veriler incelendiğinde, tüm izleme istasyonlarında her mevsimde su kalitesinin “Çok Kötü” sınıfta olduğu ve 16.08 – 24.37 aralığında değerler aldığı belirlenmiştir. O-SKİ modelinin Düden Çayı’na (2021-2022) uygulanması sonucunda, Düden Şelale Kaynak izleme istasyonunda tüm mevsimlerde su kalitesinin “Çok Kötü” sınıfta olduğu belirlenmiştir. Düden Şelale Karışım izleme istasyonunda kış ve ilkbahar mevsimlerinde su kalitesinin “Çok Kötü” sınıfta, yaz

mevsiminde ise “Kötü” sınıfta olduğu belirlenmiştir. Söz konusu istasyon için sonbahar mevsimine ait ölçüm değerleri olmadığından indeks değerleri hesaplanamamıştır. Cırnık Köprüsü izleme istasyonunda sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde su kalitesinin “Kötü” sınıfta, kış ve yaz mevsimlerinde ise “Çok Kötü” sınıfta olduğu belirlenmiştir. Düden Şelale Deniz Döküm Yeri izleme istasyonunda sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde su kalitesinin “Kötü” sınıfta, kış mevsiminde “Çok Kötü” sınıfta ve yaz mevsiminde ise “Orta” kalite sınıfında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.20).

Çizelge 4.20. Düden Çayı izleme istasyonlarına ait O-SKİ hesaplama sonuçları ve kalite sınıfları 2001-2002

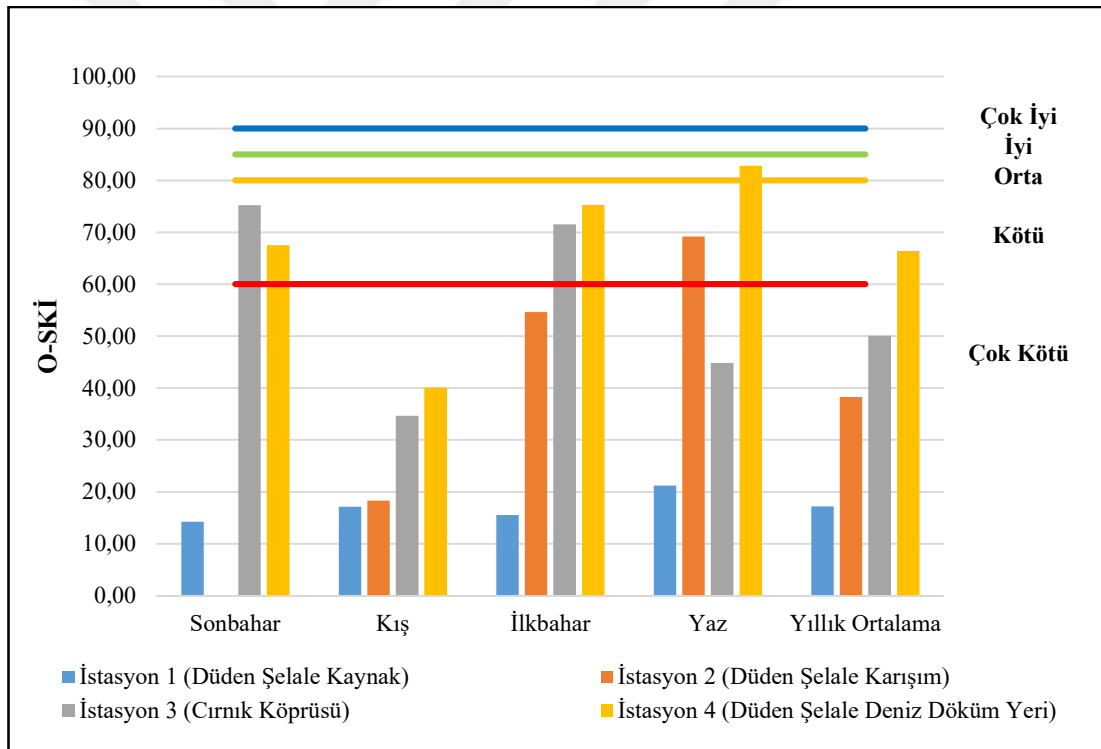
İstasyonlar	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz	Yıllık Ortalama
İstasyon 1 (Kırkgözler Kanalı)	16.08 (Çok Kötü)	22.20 (Çok Kötü)	20.40 (Çok Kötü)	17.04 (Çok Kötü)	19.39 (Çok Kötü)
İstasyon 2 (Düdenbaşı Mevkii)	17.10 (Çok Kötü)	20.26 (Çok Kötü)	22.56 (Çok Kötü)	16.00 (Çok Kötü)	19.16 (Çok Kötü)
İstasyon 3 (KoyunlarRegülatörü)	16.13 (Çok Kötü)	18.83 (Çok Kötü)	24.37 (Çok Kötü)	18.59 (Çok Kötü)	19.39 (Çok Kötü)
İstasyon 4 (Gençlik Parkı)	16.16 (Çok Kötü)	19.02 (Çok Kötü)	20.48 (Çok Kötü)	19.41 (Çok Kötü)	18.81 (Çok Kötü)



Şekil 4.19. Düden Çayı izleme istasyonlarının tüm mevsimler için O-SKİ değerleri 2001-2002

Çizelge 4.21. Düden Çayı izleme istasyonlarına ait O-SKİ hesaplama sonuçları ve kalite sınıfları 2021-2022

İstasyonlar	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz	Yıllık Ortalama
İstasyon 1 (Düden Şelale Kaynak)	14.23 (Çok Kötü)	17.11 (Çok Kötü)	15.52 (Çok Kötü)	21.19 (Çok Kötü)	17.19 (Çok Kötü)
İstasyon 2 (Düden Şelale Karışım)	-	18.30 (Çok Kötü)	54.65 (Çok Kötü)	69.16 (Kötü)	38.29 (Çok Kötü)
İstasyon 3 (Cırnık Köprüsü)	75.25 (Kötü)	34.66 (Çok Kötü)	71.55 (Kötü)	44.83 (Çok Kötü)	50.04 (Çok Kötü)
İstasyon 4 (Düden Şelale Deniz Döküm Yeri)	67.54 (Kötü)	40.08 (Çok Kötü)	75.30 (Kötü)	82.83 (Orta)	66.43 (Kötü)

**Şekil 4.20.** Düden Çayı izleme istasyonlarının tüm mevsimler için O-SKİ değerleri 2021-2022

4.2.5. Tüm İndeks Sonuçlarının Birlikte Değerlendirilmesi

Çalışmanın bu bölümünde dört farklı indeks modelinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.22’de verilen sınıflandırma ölçeği kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan dört indeks modelinin de kalite sınıflandırma ölçekleri 0-100 aralığında olmasına rağmen değerlendirme şekilleri farklıdır. 3 indeks modelinde (NSF-SKİ, CCME-SKİ, O-SKİ) kalite sınıfı 0’dan 100’e doğru artmakta ve 100 “Çok İyi” su durumunu gösterirken, BC-SKİ’de 100’den 0’a doğru su durumu iyileşmekte ve 0 “Çok İyi” su durumunu göstermektedir (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.22. Çalışmada kullanılan indeks modellerinin kalite sınıflandırma ölçeği

KALİTE SINIFI	Çok İyi	İyi	Orta	Kötü	Çok Kötü
NSF-SKİ	90-100	70-89	50-69	25-49	0-24
CCME-SKİ	95-100	80-94	65-79	45-64	0-44
BC-SKİ	0-3	4-17	18-43	44-59	60-100
O-SKİ	90-100	85-89	80-84	60-79	0-59

Ocak 2001- Şubat 2002 ve Ocak 2021- Şubat 2022 periyotlarına ait yıllık ortalama indeks sonuçları sırasıyla Çizelge 4.23 ve Çizelge 4.24’te verilmiştir. Düden Çayı üzerinde Ocak 2001- Şubat 2002 periyoduna ait 4 izleme istasyonunda uygulanan tüm indeks modelleri karşılaştırıldığında en düşük değerlerin O-SKİ modelinden, en yüksek değerlerin ise NSF-SKİ modelinden elde edildiği belirlenmiştir (Çizelge 4.23). Tüm indeks modellerinin hesaplanmasında aynı parametreler kullanılmış olmasına rağmen elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında indeks modellerinin farklı sonuçlar verdiği görülmüştür.

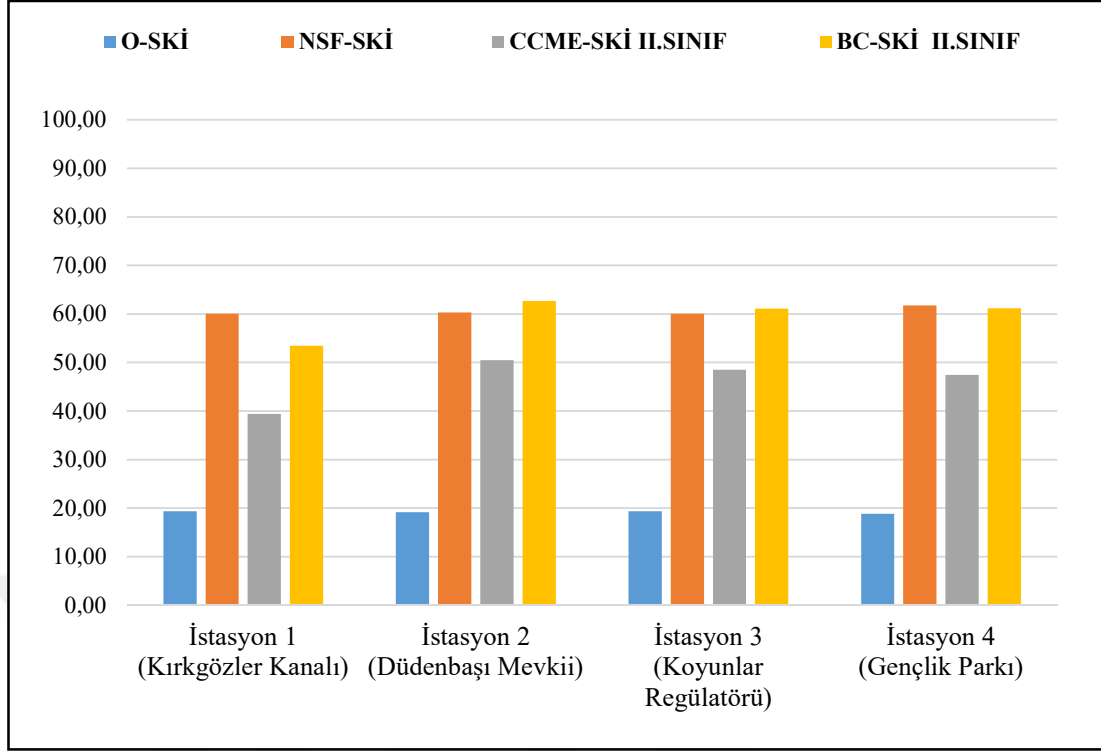
Düden Çayı Ocak 2001- Şubat 2002 periyoduna ait ortalama su kalite indeks değerlerine göre uygulanan dört indeks modelinin grafiksel karşılaştırması ise Şekil 4.21’de verilmiştir. Şekil 4.21 incelendiğinde NSF-SKİ modelinin tüm istasyonlarda Ocak 2001- Şubat 2002 periyodunda birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Düden Çayı su kalitesinin söz konusu çalışma periyodunda 60.07 – 61.79 aralığında değerler alarak “Orta” sınıfta olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.23). Bununla birlikte, CCME-SKİ modeli sonuçları da tüm istasyonlarda değerlendirilmiştir. Kırkgözler Kanalı izleme istasyonunda hesaplanan indeks değeri 39.39 olup “Çok Kötü” kalite sınıfında, diğer üç izleme istasyonunda ise 47.47 – 50.51 aralığında değerler alarak “Kötü” kalite sınıfında olduğu belirlenmiştir. BC-SKİ modelinin tüm istasyonlar için 53.45 - 62.69 aralığında değerler aldığı görülmüştür. Kırkgözler Kanalı gözlem noktasında hesaplanan BC-SKİ değerinin “Kötü” diğer üç gözlem noktasında ise “Çok Kötü” kalite sınıfında olduğu görülmüştür. Daha sonra tüm örneklem noktalarına O-SKİ modeli uygulanmış olup Ocak 2001- Şubat 2002 periyodu boyunca 18.81 – 19.39 aralığında değerler aldığı ve su kalitesinin “Çok Kötü” sınıfta olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.23. Düden Çayı Ocak 2001- Şubat 2002 periyoduna ait ortalama su kalite indeks sonuçları

İstasyonlar	O-SKİ	NSF-SKİ	CCME-SKİ (II. SINIF)	BC-SKİ (II. SINIF)
İstasyon 1 (Kırkgözler Kanalı)	19.39 (Çok Kötü)	60.07 (Orta)	39.39 (Çok Kötü)	53.45 (Kötü)
İstasyon 2 (Düdenbaşı Mevkii)	19.16 (Çok Kötü)	60.29 (Orta)	50.51 (Kötü)	62.69 (Çok Kötü)
İstasyon 3 (Koyunlar Regülatörü)	19.39 (Çok Kötü)	60.07 (Orta)	48.52 (Kötü)	61.12 (Çok Kötü)
İstasyon 4 (Gençlik Parkı)	18.81 (Çok Kötü)	61.79 (Orta)	47.47 (Kötü)	61.19 (Çok Kötü)

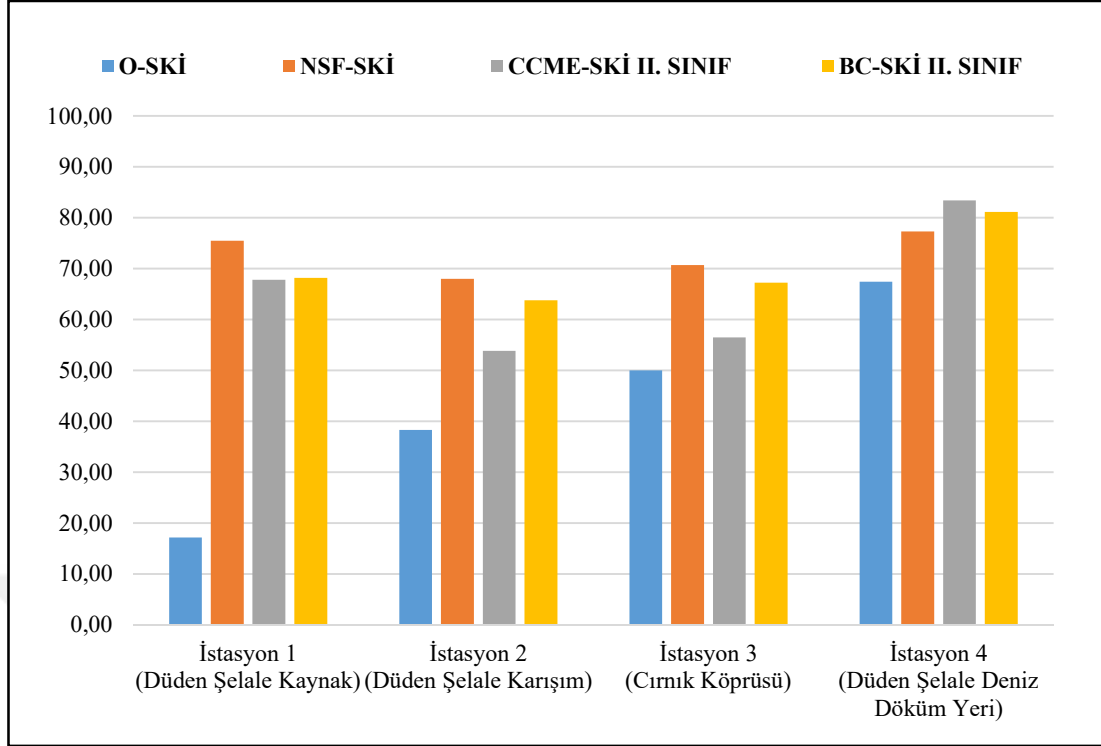
Çizelge 4.24. Düden Çayı Ocak 2021- Şubat 2022 periyoduna ait ortalama su kalite indeks sonuçları

İstasyonlar	O-SKİ	NSF-SKİ	CCME-SKİ (II. SINIF)	BC-SKİ (II. SINIF)
İstasyon 1 (Düden Şelale Kaynak)	17.19 (Çok Kötü)	75.50 (İyi)	67.79 (Orta)	68.19 (Çok Kötü)
İstasyon 2 (Düden Şelale Karışım)	38.29 (Çok Kötü)	68.00 (Orta)	53.82 (Kötü)	63.82 (Çok Kötü)
İstasyon 3 (Cırnık Köprüsü)	50.04 (Çok Kötü)	70.70 (İyi)	56.48 (Kötü)	67.23 (Çok Kötü)
İstasyon 4 (Düden Şelale Deniz Döküm Yeri)	67.42 (Kötü)	77.30 (İyi)	83.39 (İyi)	81.13 (Çok Kötü)



Şekil 4.21. Düden Çayı Ocak 2001- Şubat 2002 periyoduna ait ortalama su kalite indeks sonuçlarının su kalite indeks modellerine göre karşılaştırılması

Düden Çayı'nın Ocak 2021-Şubat 2022 periyoduna ait ortalama su kalite indeks değerlerinin su kalite indeks modellerine göre karşılaştırılması Şekil 4.22'de verilmiştir. Düden Şelale Deniz Döküm Yeri izleme istasyonunda (İstasyon 4) diğer istasyonlara kıyasla bütün indeks değerleri yüksektir. Buna rağmen İstasyon 4'deki su kalitesi NSF-SKİ ve CCME-SKİ modellerine göre "İyi", O-SKİ modeline göre "Kötü", BC-SKİ'ye göre "Çok Kötü" durum sergilemiştir. Bütün modellerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde diğer istasyonlara kıyasla en kötü su kalitesi durumu Düden Şelale Karışım İstasyonu'nda (İstasyon 2) görülmüştür. NSF-SKİ'ye göre "Orta", CCME-SKİ'ye göre "Kötü", O-SKİ ve BC-SKİ'ye göre ise "Çok Kötü" su durumunda yer almaktadır.



Şekil 4.22. Düden Çayı Ocak 2021- Şubat 2022 periyoduna ait ortalama su kalite indeks sonuçlarının su kalite indeks modellerine göre karşılaştırılması

Düden Çayı üzerinde Ocak 2001-Şubat 2002 ve Ocak 2021-Şubat 2022 periyotlarına ait indeks modelleri kendi içerisinde karşılaştırılmıştır. Çünkü her iki dönem için de hesaplamalarda kullanılan parametreler farklıdır. Düden Çayı'nın Ocak 2001-Şubat 2002 periyoduna ait su kalite indeks modellerinde 7 adet su kalite parametresi kullanılmıştır. Düden Çayı'nın Ocak 2021-Şubat 2022 periyoduna ait su kalite indeks modellerinde ise O-SKİ modelinin hesaplanmasında 5 adet su kalite parametresi, NSF-SKİ modelinde 4 adet su kalite parametresi, BC-SKİ ve CCME-SKİ modellerinin hesaplamasında ise 12 adet su kalite parametresi kullanılmıştır. Özellikle NSF-SKİ modelinde Ocak 2021-Şubat 2022 aralığına ait indeks hesaplamalarında Ocak 2001-Şubat 2002 aralığında hesaplanan indeks değerlerine kıyasla daha iyimser sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 4.23 - Çizelge 4.24). Ancak bu sonuçlara bakılarak Ocak 2021-Şubat 2022 dönemine ait su kalitesinin daha iyi olduğu kanısına varmak doğru değildir. Bu iki döneme ait SKİ hesaplamalarında aynı su kalite parametreleri kullanılmamıştır. NSF-SKİ modellerinin hesaplanmasında maksimum 9 parametre kullanılmakta ve parametrelerin hesaplamalara ne derece etki edeceği her bir parametre için verilen ağırlık katsayısıyla belirlenmektedir. Ocak 2021-Şubat 2022 dönemine ait NSF-SKİ model hesaplamalarında kullanılan ağırlık faktörü yüksek olan Çözünmüş Oksijen, Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı ve su sıcaklığı parametrelerinin ölçüm verilerinin olmaması ve hesaplamalara dahil edilmemesinden kaynaklı su kalitesinin daha iyimser sonuçlar verdiği görülmüştür.

Ocak 2021- Şubat 2022 periyotlarına ait Düden Şelale Deniz Döküm Yeri izleme istasyonunda su kalitesinin iyileştiği görülmektedir. Cırnık Köprüsünden sonra sanayi faaliyetlerinin ve yerleşim yerlerinin daha az oluşu ve Düden Çayı'nın iki kanala bölünerek oksijen kazanımının artması neticesinde Düden Çayı'nın kalitesinin Düden Şelale Deniz Döküm Yeri izleme istasyonunda diğer istasyonlara göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Hangi SKİ modelinin Düden Çayı su kalitesi değerlendirmesine daha uygun olduğu konusunda kesin bir karara varılamadığı durumda daha doğru bir değerlendirmenin yapılabilmesi için SÇD'de yer alan "uzman görüşüne" başvurulması gerekir.

Çalışmada Ocak 2001- Şubat 2002 ve Ocak 2021- Şubat 2022 periyotlarına ait indeks hesaplamalarında NSF-SKİ, CCME-SKİ, BC-SKİ ve O-SKİ modelleri kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre CCME-SKİ'nin diğer modellere göre daha uygun yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada genel su kalite değerlendirmesi yapılmış ve CCME-SKİ modelinin bu değerlendirmeye benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. NSF-SKİ modelinden elde edilen su kalite indeks sonuçlarının diğer indeks modellerinden elde edilenlere göre daha iyi olduğu görülmüştür. Ancak hesaplamalarda NSF-SKİ hesaplamaları için gerekli olan temel kirletici parametrelerin eksik olması nedeniyle modelin doğru sonuçlar vermediği tespit edilmiştir. CCME-SKİ modelinde ise izleme periyodunda ölçülmüş ve yönetmelikte limit değeri bulunan bütün parametrelerin dahil edilmesi sebebiyle elde edilen sonuçlar daha gerçekçi olmuş ve doğruyu yansıtmıştır. Marselina vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada Citarum Nehri'nin su kalitesi NSF-SKİ, CCME-SKİ ve O-SKİ modelleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, en uygun su kalite değerlendirme yönteminin NSF-SKİ modeli olduğu sonucuna varılmıştır. NSF-SKİ modeli yaygın olarak kullanılmakta ve karşılaştırılma yapılan çalışmalarda daha uygun bir model olduğu ön görülmektedir. Fakat hesaplamalarda parametre kısıtlaması olması ve temel kirletici parametrelerin indeks hesaplamalarına dahil edilmemesi durumunda su kalitesi hakkında doğru sonuçları yansıtmamaktadır. Kondum vd. (2021) çalışmasında; Benue Nehri'nin su kalitesini Kanada Çevre Bakanlar Konseyi Su Kalite İndeksi (CCME-SKİ), British Columbia Su Kalite İndeksi (BC-SKİ), Dinius Su Kalite İndeksi ve Ağırlıklı Aritmetik Su Kalite İndeks (WA-SKİ) modelleri kullanılarak değerlendirmiştir. Söz konusu çalışmada SKİ modellerinin karşılaştırılmasında, CCME-SKİ modelinin en uygun yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Hamlat vd. (2017) çalışmasında, Tafna Havza'sının su kalitesi durumu ve eğilimlerini değerlendirmek için 10 farklı su kalite indeksini (CCME- SKİ, NSF- SKİ, D-SKİ, O- SKİ, Çevre Bölümü Su Kalite İndeksi (DOE SKİ), BC- SKİ, U- SKİ, Katalan Su Ajansı Su Kalite İndeksi (ISQA- SKİ), OIP ve ATI) karşılaştırmalı olarak uygulamışlardır. Çalışmada genel su kalitesinin değerlendirilmesinde en iyi sonuçların CCME-SKİ ve BC-SKİ ile elde edildiği sonucuna varılmıştır. Zotou vd. (2019) çalışmasında, Vosvozis Nehri'nin su kalitesi 7 farklı su kalite indeks modeli (Prati's Su Kalite İndeksi, Bhargava's Su Kalite İndeksi, Oregon Su Kalite İndeksi, Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi, Kanada Çevre Bakanları

Konseyi Su Kalite İndeksi, Dinius' Second Su Kalite İndeksi ve Ağırlıklı Aritmetik Su Kalite İndeksi) kullanılarak değeriendirilmiştir. Çalışmada kullanılan modellerin karşılaştırılması sonucunda, CCME-SKİ modelinin daha uygun sonuçlar verdiği ve O-SKİ'ye kıyasla daha hassas olduğu sonucuna varılmıştır. Görüldüğü üzere CCME-SKİ modelleri yaygın olarak kullanılmakta ve diğer modellere kıyasla farklı çalışmalarda ortak tercih edilen model olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu model parametre kısıtlaması olmaması, temel kirletici parametrelerinin indeks hesaplarına dahil edilebilmesi, izleme yapılan su kütlesinin durumu hakkında daha doğru sonuçlar vermesi nedeniyle avantaj sağlamaktadır. Ancak bu indeksin en büyük dezavantajı, yapılan çalışmada yalnızca yapıldığı ülkeye ait yasal yönetmelik limit değeri olan parametrelerin hesaplamalara dahil edilebilmesidir. SKİ modelleri kullanırken izleme yapılan su kütlesinin kullanım amacına göre değerlendirme yapılması gerektiği unutulmamalıdır.



5. SONUÇLAR

Su, yaşamsal fonksiyonlarımızın sürdürülebilmesinin sağlanmasının yanı sıra ekonomi, sanayi ve tarımsal faaliyetler gibi birçok alanda kullanılan en temel ihtiyaçtır. Ancak günümüzde var olan kaynaklar üzerindeki baskı düşünüldüğünde sürdürülebilirliğin önemi artmıştır. Bu nedenle mevcut su kalitesinin korunması, iyileştirilmesi ve sürdürülebilir yönetimi giderek önem arz etmektedir. Su kalitesinin zamansal ve mekânsal değişiminin değerlendirilmesi amacıyla yapılan çalışmalarda, çok sayıda izleme istasyonu, dönem ve izlenen parametrelerin çok olması nedeniyle büyük veri setleriyle uğraşmak gerekmektedir. Bu nedenle verilerin değerlendirilmesi oldukça zorlaşmakta ve zaman almaktadır. Bu kapsamda su kalite indeks modellerinin kullanımı önemlidir. Çünkü indeks modelleri verileri hızlı ve pratik bir şekilde tek bir sayıya karşılık gelerek kalite sınıflandırması yapabilmesi açısından avantajlıdır. Ayrıca çalışmalardaki maliyetlerin düşmesini sağlamaktadır. Bu nedenle SKİ modellerinin kullanılması hem maliyet hem de zaman açısından büyük avantaj sağlamaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, en yaygın kullanılan dört su kalite indeks modeli kullanılarak Düden Çayı'nın su kalitesini değerlendirmektir. Çalışmada, Erdem (2002) tarafından Ocak 2001 - Şubat 2002 arasında Düden Çayı üzerindeki 4 istasyondan ve ASAT tarafından Ocak 2021 - Şubat 2022 arasında Düden Çayı üzerindeki 4 istasyondan yapılan izleme çalışmalarına ait su kalitesi verileri kullanılarak NSF-SKİ, CCME-SKİ, BC-SKİ ve O-SKİ değerleri hesaplanmıştır.

Düden Çayı üzerinde Ocak 2001- Şubat 2002 periyoduna ait 4 izleme istasyonunda NSF-SKİ modelinin tüm istasyonlarda birbirine yakın sonuçlar verdiği ve su kalite indeksinin 60.07–61.79 aralığında değerler alarak “Orta” sınıfta olduğu belirlenmiştir. CCME-SKİ model sonuçları incelendiğinde, Kırkgözler Kanalı izleme istasyonunda hesaplanan indeks değerinin 39.39 ile “Çok Kötü” kalite sınıfında, diğer üç izleme istasyonunda ise 47.47-50.51 aralığında değerler alarak “Kötü” kalite sınıfında olduğu belirlenmiştir. BC-SKİ modelinin tüm istasyonlar için 53.45-62.69 aralığında değerler aldığı ve Kırkgözler Kanalı gözlem noktasında hesaplanan BC-SKİ değerinin “Kötü” diğer üç gözlem noktasında ise “Çok Kötü” kalite sınıfında olduğu görülmüştür. O-SKİ modelinden elde edilen indekslerin Ocak 2001- Şubat 2002 periyodu boyunca 18.81–19.39 aralığında değerler aldığı ve su kalitesinin “Çok Kötü” sınıfta olduğu belirlenmiştir.

Ocak 2001- Şubat 2002 periyoduna ait 4 izleme istasyonunda uygulanan tüm indeks modelleri karşılaştırıldığında en düşük değerlerin O-SKİ modelinden, en yüksek değerlerin ise NSF-SKİ modelinden elde edildiği görülmüştür. Tüm indeks modellerinin hesaplanmasında aynı parametreler kullanılmış olmasına rağmen elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında indeks modelleri farklı sonuçlar vermiştir. Ocak 2001 - Şubat 2002 dönemine ait CCME-SKİ sonuçlarına göre 1. istasyon olarak adlandırılan Kırkgözler Kanalı'nın su kalitesi diğer istasyonlara göre daha düşüktür. Bu istasyonda hesaplamaya

dahil edilen ve su kalite indeksini olumsuz yönde etkileyen parametrelerin Çözünmüş Oksijen, Toplam Fosfor ve Fekal Koliform olduğu her bir parametre için hesaplanan indeks değerlerinden tespit edilmiştir. Aynı indeks modelinden elde edilen sonuçlara göre diğer izleme istasyonlarındaki su kalitelerinin "Kötü" olduğu değerlendirilmiştir. Bu durum Kırkgözler kanalına gelen suyun etrafındaki veya öncesindeki kirletici kaynaklar nedeniyle baskı altında olduğunu göstermektedir. Buna karşılık BC-SKİ modelinden elde edilen sonuçlar ise Kırkgözler Kanalı ve hemen sonraki istasyon olan Düdenbaşı Mevkii arasında bir takım kirletici kaynakların bulunduğunu ve su kalitesinin kötüleşmesine neden olduğunu göstermektedir.

Düden Çayı'nın Ocak 2021-Şubat 2022 periyoduna ait 4 izleme istasyonunda NSF-SKİ modelinin Düden Şelale Karışım izleme istasyonunda hesaplanan indeks değeri 68.00 olup "Orta" kalite sınıfında, diğer 3 izleme istasyonunda ise 70.70– 77.30 aralığında değerler olarak "İyi" kalite sınıfında olduğu belirlenmiştir. O-SKİ modelinde Düden Şelale Deniz Döküm Yeri izleme istasyonunda "Kötü" diğer 3 izleme istasyonunda ise "Çok Kötü" kalite sınıfında olduğu belirlenmiştir. CCME-SKİ modeli sonuçları incelendiğinde, Düden Şelale Karışım ve Cırnık Köprüsü izleme istasyonlarında "Kötü" Düden Şelale Kaynak izleme istasyonunda "Orta" ve Düden Şelale Deniz Döküm Yeri izleme istasyonunda ise "İyi" kalite sınıfında olduğu belirlenmiştir. BC-SKİ modelinden elde edilen indeks değerleri 4 izleme istasyonunda 63.82–81.13 aralığında değerler olarak "Çok Kötü" kalite sınıfında olduğu belirlenmiştir.

Düden Çayı'nın Ocak 2021-Şubat 2022 periyoduna ait 4 izleme istasyonunda uygulanan tüm indeks modellerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Düden Şelale Kaynak izleme istasyonu (İstasyon 1) NSF-SKİ'ye göre "İyi", CCME-SKİ'ye göre "Orta", O-SKİ ve BC-SKİ'ye göre ise "Çok Kötü" su durumunda yer almaktadır. Cırnık Köprüsü izleme istasyonu ise (İstasyon 3) NSF-SKİ'ye göre "Orta", CCME-SKİ'ye göre "Kötü", O-SKİ ve BC-SKİ'ye göre ise "Çok Kötü" su durumunda yer almaktadır. Düden Şelale Deniz Döküm Yeri izleme istasyonunda (İstasyon 4) diğer istasyonlara kıyasla bütün indeks değerleri yüksektir. İstasyon 4'deki su kalitesi NSF-SKİ ve CCME-SKİ modellerine göre "İyi", O-SKİ modeline göre "Kötü", BC-SKİ'ye göre "Çok Kötü" durum sergilemiştir. Bütün modellerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde diğer istasyonlara kıyasla en kötü su kalitesi durumu Düden Şelale Karışım istasyonu'nda (İstasyon 2) görülmüştür. Düden Şelale Karışım istasyonu, NSF-SKİ'ye göre "Orta", CCME-SKİ'ye göre "Kötü", O-SKİ ve BC-SKİ'ye göre ise "Çok Kötü" su durumunda yer almaktadır. NSF-SKİ modelinden elde edilen sonuçlar her ne kadar "İyi" kalite sınıfında olduğunu gösterecek model hesaplamalarında kullanılan ağırlık katsayısı yüksek olan ÇO, BOİ₅ ve Sıcaklık parametrelerin ölçüm verilerinin olmaması ve hesaplamalara dahil edilmemesinden kaynaklanmaktadır. NSF-SKİ modeli ile yapılacak olan çalışmalarda ağırlık katsayısı yüksek olan parametrelerin indeks hesaplamalarına dahil edilmesi, izleme yapılan su kütlesinin kalitesi hakkında daha doğru ve güvenilir sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır.

Ocak 2021 - Şubat 2022 dönemine ait CCME-SKİ'ye ait indeks sonuçlarına göre, Düden Şelale Kaynak noktasında su kalitesinin “Orta” sınıfta olduğu görülmüştür. Ancak bundan sonraki istasyonlarda (2. ve 3. İstasyonlar) su kalitesi kötüleşmiştir. Bu durum 1. İstasyon olan Düden Şelale Kaynak ve 2. İstasyon olan Düden Şelale Karışım arasında bazı kirletici kaynakların bulunduğunu ve su kalitesinin kötüleşmesine neden olduğunu göstermektedir. Parametre bazında yapılan su kalitesi değerlendirmelerinde Çözünmüş Oksijen, Toplam Fosfor, Fekal Koliform, Klorür, Demir, Mangan ve Alüminyum ölçüm değerlerinin yönetmelikte verilen sınır değerleri aştığı ve su kalitesini olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir. Bu da Düden Şelale Karışım ve Cırnık Köprüsü izleme istasyonlarının kirletici kaynaklarına maruz kaldığını destekler niteliktedir. Düden Şelale Deniz Döküm Yeri izleme istasyonunda su kalitesinin iyileştiği görülmektedir. Cırnık Köprüsü ve Düden Şelale Deniz Döküm Yeri izleme istasyonunları arasında bulunan alan içerisinde yerleşim yerlerinin ve sanayi faaliyetlerinin diğer bölgelere göre yoğun olmaması ve Düden Çayı'nın iki kanala ayrılarak daha fazla oksijen kazanması su kalitesinin daha iyi sonuçlar vermesine sebep olmuştur. Bu durum Cırnık Köprüsü öncesinde Düden Çayı su kalitesine kirletici kaynakların etkisinin daha fazla olduğunu göstermektedir. Artan nüfusun, sanayi ve tarımsal faaliyetlerin su kalitesi üzerinde oluşturduğu baskının daha hassas değerlendirilebilmesi için örnekleme noktalarının ve ölçülen parametrelerin sayısının artırılması gerektiği düşünülmektedir.

Sonuç olarak, NSF-SKİ modelinin uluslararası çalışmalarda yaygın olarak kullanılmakta olduğu ve karşılaştırılma yapılan çalışmalarda daha uygun bir model olduğu ön görülmektedir. Ancak bütün model sonuçları değerlendirildiğinde, CCME-SKİ modelleri ile yapılan çalışmalarda parametre kısıtlaması olmaması, dahil edilen parametrelerin kullanıcılar tarafından belirlenmesi ve temel kirleticilerin indeks hesaplamalarında yer almasına imkan tanınması su kalite değerinin tutarlılığı açısından avantaj oluşturmaktadır. Bu nedenle CCME-SKİ modelinin su kalitesinin belirlenmesinde en uygun indekslerden biri olduğu sonucuna varılmıştır.

Bulguları iyileştirmek ve gelecek araştırmalara yol göstermesi için bazı öneriler şu şekildedir;

- Bu çalışmanın sonuçlarını geliştirebilmek için su kalite indeks modellerinin hesaplanmasında aynı parametrelerin kullanılabilmesi ve indeks sonuçlarının karşılaştırılması,
- Limit değerleri aşan parametreler öncelikli olmak üzere indeks hesaplamalarında gerekli su kalite parametrelerinin izlenmeye devam edilmesi,
- Düden Çayı su kalitesini izleyen kurumlarda indeks modelleri kullanılarak ölçülen parametrelerin su kalite değerlendirmelerinin yapılması,

- Daha fazla istasyondan örnek alınıp, değerlendirme yapılarak kirlетici kaynak giriş yerlerinin ve su kalitesinin kötüleştiğı yerlerin tespit edilmesi,
- Su kalitesinin kötüleştiğı alanlarda önlemler alınması ve bu alanlara yoğunlaşılması,
- Düden Çayı Havzası'nda bulunan bütün sanayi tesislerinden olan atıksu deşarjlarının düzenli olarak izlenmesi ve kayıt altında tutulmasının olası yasal olmayan deşarjların engellenmesi konusunda katkı sağlayacağı,
- Kesikli veriler yerine sürekli veriler ile zamansal olarak yıllar bazında su kalitesindeki değişimlerin ortaya koyulması,
- Böylece hem zamansal hemde mekânsal olarak değişimlerin tespit edilebileceğı sonucuna varılmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Abbasi, T., Abbasi, S.A., 2012. Water-Quality Indices. Elsevier, pp. 353–356.
- Al-Mayah, W. T., and Mashaanrabee, A. 2020. Evaluation of Water Quality Using Water Quality Index (WQI) Method and GIS in Al-Gharraf River Southren of Iraq. doi: 10.13140/RG.2.2.27768.88325
- Alver, A., ve Baştürk, E. 2019. Karasu Nehri Su Kalitesinin Farklı Su Kalitesi İndeksleri Açısından Değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(2): 488-497. doi: 10.19113/sdufenbed.528611.
- Anonim 1: <https://www.scopus.com/term/analyzer.uri?sort=plf-f&src=s&sid=856d778c25dbe39a66dfbbe64c8dfe1f&sot=a&sdt=a&sl=73&s=%28TITLE-ABS-KEY%28%27%27water+AND+quality+AND+index%27%27%29+AND+TITLE-ABS-KEY%28river%29%29&origin=resultslist&count=10&analyzeResults=Analyze+results> [Son Erişim Tarihi: 08.3.2023].
- Anonim 2: <https://www.scopus.com/term/analyzer.uri?sort=plf-f&src=s&sid=856d778c25dbe39a66dfbbe64c8dfe1f&sot=a&sdt=a&sl=72&s=%28TITLE-ABS-KEY%28%27%27water+AND+quality+AND+index%27%27%29+AND+TITLE-ABS-KEY%28lake%29%29&origin=resultslist&count=10&analyzeResults=Analyze+results> [Son Erişim Tarihi: 08.3.2023].
- Anonim 3: <https://www.scopus.com/term/analyzer.uri?sort=plf-f&src=s&sid=856d778c25dbe39a66dfbbe64c8dfe1f&sot=a&sdt=a&sl=71&s=%28TITLE-ABS-KEY%28%27%27water+AND+quality+AND+index%27%27%29+AND+TITLE-ABS-KEY%28sea%29%29&origin=resultslist&count=10&analyzeResults=Analyze+results> [Son Erişim Tarihi: 08.3.2023].
- Antalya Kent Konseyi Yürütme Kurulu 2021. Yukarı Düden Şelalesi Mansabında Görülen Su Kirliliğinin Sebepleri ve Alınması Gereken Önlemler Sonuç Raporu. Antalya. <http://antalyakentkonseyi.org.tr/wp-content/uploads/2021/04/duden-cayi-raporu.pdf> [Son Erişim Tarihi: 24.01.2023].
- Atilla, A. Ö., ve Arıkan, A. 2001. Antalya İlaverten Platosu Yeraltısuunun Kümeleme ve Faktör Analizi ile Sınıflandırılması. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 23(1): 41-54.
- Aydın H. 2022. Samsun – Giresun Kıyisal Akarsularında Kirlilik Riski Değerlendirmesi; İstatistiksel Analiz ve Su Kalitesi Endeksli Birleşik Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, Giresun Üniversitesi, Giresun, 156 s.
- Aydoğdu Kayadelen H. 2022. The Use Of Water Quality Index For The Estimation Of Water Quality In Ankara Stream, Ankara University, Ankara, 64 s.

- Barbulescu, A., Barbes, L., and Dumitriu, C. S. 2021. Assessing the water pollution of the Brahmaputra River using water quality indexes. *Toxics*, 9(11):297. doi:10.3390/toxics9110297
- Baştürk, E., ve Alver, A. 2019. Melendiz Nehri Su Kalitesinin Farklı Kullanım Amaçlarına Göre Değerlendirilmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2): 731-740. doi: 10.28948/ngumuh.531129
- Bayır İ. 2022. Karasu Nehri (Erzincan) Ağır Metal Kirliliği Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, Giresun Üniversitesi, Giresun, 168 s.
- Bhutiani, R., Khanna, D. R., Kulkarni, D. B., and Ruhela, M. 2016. Assessment of Ganga river ecosystem at Haridwar, Uttarakhand, India with reference to water quality indices. *Applied Water Science*, 6: 107-113. doi:10.1007/s13201-014-0206-6
- Bilgin A. 2018. Water Quality Index and Applications. *Journal of Current Researches on Engineering, Science and Technology*, 4 (2): 161-170. doi: 10.26579/jocrest-4.2.14
- Brown, R.M., Mc Clelland, N.I., Deininger, R.A., Tozer, R.G. 1970. A water quality index—do we dare?. *Water Sewage Works*, 117(10): 339-343.
- CCME (2001a) Canadian Council of Ministers of the Environment, Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0. User's Manual. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999. Winnipeg.
- CCME (2001b) Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0. Technical report. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999. Winnipeg.
- Cude, C. G. 2001. Oregon water quality index: a tool for evaluating water quality management effectiveness. *Journal of the American Water Resources Association*, 37(1): 125-137. doi:10.1111/j.1752-1688.2001.tb05480.x
- Çiftçi M. 2021. Yukarı Sakarya Nehri'nde Su Kalitesindeki Mevsimsel Değişimlerin İndekslere Bağlı Olarak Belirlenmesi ve Kirlenici Kaynaklarına Göre Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, 151s.
- Dede, O. T., Telci, I. T., and Aral, M. M. 2013. The use of water quality index models for the evaluation of surface water quality: a case study for Kirmir Basin, Ankara, Turkey. *Exposure and Health*, 1(5): 41-56. doi:10.1007/s12403-013-0085-3
- Dewata, I. 2019. Water Quality Assessment of Rivers in Padang Using Water Pollution Index And NSF-WQI Method. *International Journal of Geomate*, 17(64):192-200. doi: 10.21660/2019.64.16793
- Dipova, N., ve Yıldırım, M. 2005. Antalya tufa platolarının oluşumu ve jeomorfolojik özellikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 29(2): 53-69.
- Dominguez Franco, H., Custodio, M., Penaloza, R., De la Cruz, H. 2021. Application of Multivariate Statistical Methods and Water Quality Index for the Evaluation of Surface Water Quality in the Cunas River Basin, Peru. *Asian Journal of Water Environment and Pollution*, 18(4):19-27. doi: 10.3233/AJW210039

- Durmuş M. T. 2021. Ankara Çayı Su Kalitesinin NSF-WQI İndeksi Kullanılarak Belirlenmesi ve Çözüm Önerilerinin Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, 218 s.
- Erdem A. 2002. Düden Çayı'nın Su Kalitesinin İncelenmesi ve Akdeniz'e Taşınan Kirlilik Yüklerinin Mevsimsel Değişiminin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 116 s.
- Goudarzi, F., Hedayatiaghmashhadi, A., Kazemi, A., and Fürst, C. 2022. Optimal Location of Water Quality Monitoring Stations Using an Artificial Neural Network Modeling in the Qarah-Chay River Basin, Iran. *Water*, 14(6): 870. doi: 10.3390/w14060870.
- Gupta, N., Pandey, P., and Hussain, J. 2017. Effect of physicochemical and biological parameters on the quality of river water of Narmada, Madhya Pradesh, India. *Water Science*, 31(1): 11-23. doi: 10.1016/j.wsj.2017.03.002.
- Gupta, R., Singh, A. N., and Singhal, A. 2019. Application of ANN for water quality index. *Int. J. Mach. Learn. Comput*, 9(5): 688-693. doi:10.18178/ijmlc.2019.9.5.859
- Hamlat, A., Guidoum, A., Koulala, I. 2017. Status and trends of water quality in the tafna catchment: a comparative study using water quality indices. *J. Water Reuse Desalin*, 7(2): 228-245. Doi:10.2166/wrd.2016.155
- Hepsağ E. 2003. Köyceğiz-Dalyan Lagün Havzası Su Kaynaklarının Su Kalitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 196s.
- Horton, R.K., 1965. An index number system for rating water quality. *Water Pollut. Control Fed.*, 37(3): 300-306.
- Ismail, A. H., Robescu, D., and Hameed, M. A. 2018. Application of CCME WQI in the assessment of the water quality of Danube River, Romania. *Engineering and Technology Journal*, 36(2 Part C): 142-146. doi: 10.30684/etj.36.2c.8.
- Ismail, A. H., and Robescu, D. 2019. Assessment of water quality of the danube river using water quality indices technique. *Environmental Engineering and Management Journal*, 18(8): 1727-1737.
- Kareem, S. L., Jaber, W. S., Al-Maliki, L. A., Al-husseiny, R. A., Al-Mamoori, S. K., and Alansari, N. 2021. Water quality assessment and phosphorus effect using water quality indices: Euphrates River-Iraq as a case study. *Groundwater for Sustainable Development*, 14: 100630. doi: 10.1016/j.gsd.2021.100630.
- Kaur, L., Rishi M.S., Arora, N.K. 2021. Deciphering pollution vulnerability zones of River Yamuna in relation to existing land use land cover in Panipat, Haryana, India. *Environ Monit Assess.*, 193(3):120. doi: 10.1007/s10661-020-08832-y
- Kondum, F. A., Iwar, R. T., and Kon, E. T. 2021. A comparison of water quality indexes for an inland river. *Journal of Engineering Research and Reports*, 20(4): 1-14. doi: 10.9734/JERR/2021/v20i417290
- Leventeli, Y., Yalcin, F., and Kilic, M. 2019. An investigation about heavy metal pollution of Duden and Goksu Streams (Antalya, Turkey). *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2). doi:10.15666/aeer/1702_24232436

- Marselina, M., Wibowo, F., and Mushfiroh, A. 2022. Water quality index assessment methods for surface water: *A case study of the Citarum River in Indonesia. Heliyon*, 8(7): e09848. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e09848.
- Parween, S., Siddique, N. A., Diganta, M. T. M., Olbert, A. I., and Uddin, M. G. 2022. Assessment of urban river water quality using modified NSF water quality index model at Siliguri city, West Bengal, India. *Environmental and Sustainability Indicators*, 16: 100202. doi: 10.1016/j.indic.2022.100202.
- Rocchini, R., and Swain, L. G. 1995. The British columbia water quality index. water quality branch. *Environmental Protection Department, British Columbia Ministry of Environment, Land and Parks*, 13.
- Saplıoğlu, K., Küçükerdem, T. S., and Alqaysi, R. S. D. 2017. Akdeniz Bölgesi akarsularının su kalitesi sınıflarının ve trendlerinin belirlenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8(1): 33-42.
- SKKY, 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 31 Aralık 2004 Tarihli ve 25687 Sayılı Resmi Gazete, Ankara, Türkiye.
- SKKY, 2008. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 13 Şubat 2008 Tarihli ve 26786 Sayılı Resmi Gazete, Ankara, Türkiye.
- Suryawanshi, S. G., Kamble, S. S., Bhandare, A. N., Tamboli, S. A., Pawar, C. R., Potdar, R. D., and Tamboli, A. E. 2018. Water quality index of ground water. *International Journal of Engineering Science and Computing*, (8), 4: 16636-16643.
- Şahin M. 2018. Porsuk Çayı'nın Su Kalite İndekslerine Göre Değerlendirilmesi ve Baraj Gölü Trofik Seviyesinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 141 s.
- T.C İç İşleri Bakanlığı Nüfus ve Vatandaşlık İşleri Genel Müdürlüğü. Türkiye İstatistik Kurumu 2023. Tarım Alanı ve Örtüaltı Tarım Alanı. <https://cip.tuik.gov.tr/#> [Son Erişim Tarihi: 24.3.2023].
- T.C İç İşleri Bakanlığı Nüfus ve Vatandaşlık İşleri Genel Müdürlüğü. Türkiye İstatistik Kurumu 2023. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları. Yıllara Göre İl Nüfusları. <https://cip.tuik.gov.tr/#> [Son Erişim Tarihi: 24.3.2023].
- T.C. Antalya Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü 2016. Antalya İli 2015 Yılı Çevre Durum Raporu. Antalya. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/editordosya/Antalya%20cevre%20durum%20raporu%202015.pdf> [Son Erişim Tarihi: 14.01.2023].
- T.C. Antalya Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü 2021. Antalya İli 2020 Yılı Çevre Durum Raporu. Antalya. https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/antalya_2020_-cdr-20210812095503.pdf [Son Erişim Tarihi: 14.01.2023].
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2023. Resmi İstatistikler. İllere Ait Mevsim Normalleri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ANTALYA> [Son Erişim Tarihi: 24.3.2023].

- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü 2016. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi. Proje Nihai Raporu. https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20de%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Finin%20su%20kaynaklar%C4%B1na%20etkisi/Iklim_NihaiRapor.pdf [Son Erişim Tarihi: 12.01.2023].
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü 2016. Antalya Havzası Taşkın Yönetim Planı. Ankara. http://taskinyonetimi.tarimorman.gov.tr/_engine/_engine/file.axd?file=/Dokumanlar/Havzalar/antalya/Antalya%20Havzas%C4%B1%20Ta%C5%9Fk%C4%B1n%C3%B6netim%20Plan%C4%B1.pdf [Son Erişim Tarihi: 12.01.2023].
- T.C. Resmi Gazete. Düden Şelalesi ve Çayı Nitelikli Doğal Koruma Alanı. 05.08.2020. Sayı:31204. Ankara. <https://antalya.csb.gov.tr/antalya-kepez-ve-muratpasaduden-selalesi-ve-cayi-nitelikli-dogal-koruma-alani-tescil-ilani-duyuru-410013> [Son Erişim Tarihi: 24.3.2023].
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. Su Yönetimi Genel Müdürlüğü 2018. Antalya Havzası Kuraklık Yönetim Planı. Nihai Rapor. Ankara. <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Kurakl%C4%B1k%20Y%C3%B6netim%20Planlar%C4%B1/Antalya%20Havzas%C4%B1%20Kurakl%C4%B1k%20Y%C3%B6netim%20Plan%C4%B1%20Nihai%20Rapor.pdf> [Son Erişim Tarihi: 12.01.2023].
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Havza%20H%C4%B0E_Sunumlar/Su%20Y%C3%B6netimi%20Genel%20M%C3%BCd%C3%BCrl%C3%BC%C4%9F%C3%BC.pdf
- Teodorof, L., Ene, A., Burada, A., Despina, C., Secleanu-Odor, D., Trifanov, C., ... and Iticescu, C. 2021. Integrated assessment of surface water quality in Danube River Chilia Branch. *Applied Sciences*, 11(19): 9172. doi:10.3390/app11199172
- Tuğrul İçemer, G., 2005. Antalya Kıyılarında Deniz Suyu Kalitesini Etkileyen Faktörler ve Aşırı Mikroalg Üremeleri. TÜBİTAK Proje No: ÇAYDAG 101Y065.
- Tunç Dede, Ö., ve Sezer, M. 2017. Aksu Deresi Su Kalitesinin Belirlenmesinde Kanada Su Kalitesi İndeksi (CWQI) Modelinin Uygulanması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3). doi: 10.17341/gazimmfd.337643.
- TÜBİTAK MAM, 2013. Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Projesi, Antalya Havzası, Proje Nihai Raporu, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 827 s.
- Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., Dobhal, R. 2013. Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index. *American Journal of Water Resources*, 1(3): 34-38. doi:10.12691/ajwr-1-3-3
- Uddin, Md. G., Nash, S., Olbert, A.I. 2021. A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators*. 122-107218. doi: 10.1016/j.ecolind.2020.107218
- Uslu A. 2022. Aksu Çayı ve Acısu Deresi Su Kalitesinin Su Kalite İndeksleri Kullanılarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 144 s.

- Ustaoğlu, 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: 105815. doi:10.1016/j.ecolind.2019.105815.
- Vuruşkan, A., ve Ortaçeşme, V. 2009. Antalya Kentindeki Doğal Sit Alanlarına İlişkin Sorunların İrdelenmesi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(2): 179-190.
- Yotova, G., Varbanov, M., Tcherkezova, E., Tsakovski, S. 2021. Water quality assessment of a river catchment by the composite water quality index and self-organizing maps. *Ecological Indicators*. doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106872
- YSKY, 2012. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, 30 Kasım 2012 Tarihli ve 28483 Sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- YSKY, 2015. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, 15 Nisan 2015 Tarihli ve 29327 Sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- YSKY, 2021. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, 16 Haziran 2021 Tarihli ve 31513 Sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Zandbergen, P. A., Hall, K. J. 1998. Analysis of the British Columbia water quality index for watershed managers: a case study of two small watersheds. *Water Quality Research Journal of Canada*, 33(4): 519–549.
- Zeinalzadeh, K., Rezaei, E. 2017. Determining spatial and temporal changes of surface water quality using principal component analysis. *J. Hydrol. Reg. Stud.*, 13: 1-10. doi: 10.1016/j.ejrh.2017.07.002
- Zotou, I., Tsihrintzis, V. A., and Gikas, G. D. 2019. Performance of seven water quality indices WQIs in a Mediterranean River. *Environmental monitoring and assessment*, 191: 1-14. doi: 10.1007/s10661-019-7652-4.

ÖZGEÇMİŞ

Yeliz YAĞAR

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2020-2023	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği ABD, Antalya
Lisans 2014-2020	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Antalya
Ön Lisans 2010-2012 Ön Lisans 2017-2022	Süleyman Demirel Üniversitesi Selahattin Karasoy MYO, Harita ve Kadastro, Isparta Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler MYO, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Antalya