



**BURSA İLİ YÜZEYSEL SULARINDA ASİMİLE EDİLEBİLİR
ORGANİK KARBON (AOK) MİKTARININ BELİRLENMESİ**

İzel KENAN



T.C.
BURSA ULUDAĞ
ÜNİVERSİTESİ FEN
BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BURSA İLİ YÜZEYSEL SULARINDA ASİMİLE EDİLEBİLİR ORGANİK
KARBON (AOK) MİKTARININ BELİRLENMESİ**

İzel KENAN

Doç. Dr. Arzu TEKSOY
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA– 2023
Her Hakkı Saklıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BURSA İLİ YÜZEYSEL SULARINDA ASİMİLE EDİLEBİLİR ORGANİK KARBON (AOK) MİKTARININ BELİRLENMESİ

İzel KENAN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Arzu TEKSOY

Son yıllarda etkisini gittikçe arttıran iklim değişikliğinin yaşadığımız coğrafyaya bir getirisi olan kuraklık göz ardı edilemez bir durum haline gelmiştir. Dolayısıyla sınırlı içme suyunu güvenli bir şekilde halka arz etmek oldukça önemlidir. İçme suyundaki organik karbon miktarı biyolojik kararlılığı etkileyen faktörlerden birisidir. Toplam organik karbonun (TOK) bakteriler tarafından kolaylıkla kullanılabilen kısmını ifade eden asimile edilebilir organik karbon (AOK), sularda yeniden bakteriyel çoğalma potansiyelinin en önemli göstergelerinden birisidir. Yapılan bu tez çalışmasında Bursa ilinin içme suyu talebini karşılayan Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarındaki AOK miktarlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Doğancı barajında üç farklı örnekleme noktasından, Çınarcık ve Nilüfer barajlarından ise iki farklı örnekleme noktasından dört mevsimi temsil edecek şekilde yüzeysel su örnekleri alınmıştır. AOK analizi standart metotlarda önerilen *Pseudomonas fluorescens* P-17 ve *Aquaspirillum* NOx bakterilerinin kullanıldığı kültürel yöntem ile yapılmıştır. Elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirildiğinde % 95 güven aralığında AOK parametresinin her bir barajda mevsimsel olarak değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Kış mevsiminde azaldığı gözlemlenen AOK miktarının yaz mevsiminde arttığı görülmüştür. Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarında tespit edilen ortalama AOK miktarı sırası ile 31.17, 19.64 ve 28.97 µg C/L'dir. Barajlarda ölçülen AOK değerleri sularda biyolojik stabilite için sınır değer olan 10 µg C/ L'nin üzerindedir.

Anahtar Kelimeler: Asimile edilebilir organik karbon, Baraj suyu, Yeniden çoğalma, Biyolojik stabilite, Kültürel yöntem, Yüzeysel sular
2023, vii + 69 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

DETERMINATION OF ASSIMEDIABLE ORGANIC CARBON (AOK) IN SURFACE WATER IN BURSA PROVINCE

İzel KENAN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Doc. Dr. Arzu TEKSOY

In recent years, drought, which is a consequence of climate change that has increasingly affected our geography, has become an undeniable situation. Therefore, it is very important that limited drinking water is delivered safely to the public.

Therefore, it is crucial to supply limited drinking water to the public in a safe manner. The amount of organic carbon in drinking water is one of the factors that affects biological stability. Assimilable organic carbon (AOC), which represents the portion of total organic carbon (TOC) that can be easily utilized by bacteria, is one of the most important indicators of bacterial regrowth potential in water. The aim of this thesis study is to determine the AOC levels in the Doğancı, Çınarcık, and Nilüfer dams, which supply the drinking water demand of Bursa province. Surface water samples were taken from three different sampling points in the Doğancı dam and two different sampling points in the Çınarcık and Nilüfer dams to represent four seasons. AOC analysis was conducted using the cultural method recommended by standard methods with *Pseudomonas fluorescens* P-17 and *Aquaspirillum* NOx bacteria. When the obtained data was statistically evaluated, it was determined that the AOC parameter showed seasonal variability in each dam with 95% confidence interval. It was observed that the AOC levels, which decreased in winter, increased in summer. The average AOC levels determined in the Doğancı, Çınarcık, and Nilüfer dams are 31.17, 19.64, and 28.97 µg C/L, respectively. The measured AOC values in the dams are above the threshold value of 10 µg C/L for biological stability in water.

Key words: Assimilable organic carbon, Dam water, Regrowth, biostability, Cultural method, Surface water

2023, vii + 69 pages.

TEŞEKKÜR

Bir Türk genci olarak bizlere 100.yılımı kutlayacağımız cumhuriyetimizi armağan eden ve kız çocuklarına eşit düzeyde eğitim hakkı tanıyan, fikirleri ve görüşleriyle her daim yolumu aydınlatan, Gazi Mustafa Kemal Atatürk'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bitmek bilmeyen sorularımı cevaplayan, yaptığım hataları her zaman hoş görü ile karşılayan, akademik bilgisini ve deneyimini benden hiç esirgemeyen, bana her zaman inanan ve güvenen, sadece akademik alanda değil hayatın her alanında bana olan desteğini hissettiğim ve iyi bir ekip olduğumuzu düşündüğüm saygı değer danışmanım Sayın Doç. Dr. Arzu TEKSOY'a teşekkürlerimi sunarım.

Yapmış olduğum tez çalışmasında bana numune desteği sağlayan ve verilerini benimle paylaşan BUSKİ'ye teşekkürlerimi sunarım. Laboratuvar çalışmalarımın bir kısmında bana yardımcı olan Ceyda DÖNMEZ ve Meryem ÇELİK'e, deneysel sürecimde sadece aynı laboratuvarı değil 9 ay boyunca pek çok şeyi paylaştığımız arkadaşım Gülbiye DEMİRCİ'ye teşekkürlerimi sunarım

Birlikte geçen yüksek lisans eğitimimiz boyunca bana olan desteğinden ötürü meslektaşım Tuğba CAN'a teşekkürlerimi sunarım. Bu süreci yaşamış biri olarak yüksek lisans mülakatımdan beri yanımda olan sevgili dostum Gizem BABACAN'a teşekkür ederim. Laboratuvarda geç saatlere kaldığımda ve tatil günleri çalışmam gerektiğinde beni hiç yalnız bırakmayan, her türlü malzeme ya da numune alınması gereken durumlarda bana yardımcı olan, beni hep destekleyen sevgili dostum Gürhan ÖZKAN'a maddi-manevi desteği ve tüm emekleri için çok teşekkür ederim. Tüm kalbiyle yanımda olan Ramazan TOPAL'a sabrı ve tüm desteği için sonsuz teşekkür ederim.

Geldiğim noktada bana çok emek veren sevgili aileme, benim ben olmamı sağlayan, her konuda onun gibi olmak istediğim, örnek aldığım, en büyük destekçim anneme, varlığıyla bana güç veren babama, onun kardeşi olduğum için kendimi çok şanslı hissettiğim canımın içi abime ve yengeme özverileri için ve her zaman bana inandıkları için teşekkürü borç bilirim.

İzel KENAN
15/04/2023

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	vi
1.GİRİŞ.....	1
2.KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1.Bursa İli Su Kaynakları.....	4
2.2.Barajlara Dair Genel Bilgiler.....	5
2.3.Baraj Göllerinin Özellikleri.....	5
2.4.İçme ve Kullanma Sularının Özellikleri.....	9
2.5.Sularda Asimile Edilebilir Organik Karbonun DOM, ÇOK ve TOK ile ilişkisi.....	10
2.6.Yüzeysel Sularda ve İçme Sularında Asimile Edilebilir Organik Karbon (AOK).....	11
2.7.Asimile Edilebilir Organik Karbon Miktarının Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler.....	12
2.7.1. Kültürel Yöntem.....	13
2.7.2.Adenozin tri fosfat (ATP) Lüminesans ile AOK Ölçümü.....	14
2.7.3.Akım Sitometrisi ile AOK Ölçümü.....	15
2.8.Farklı Sularda AOK ile Yapılmış Çalışmalar.....	16
3.MATERYAL ve YÖNTEM.....	20
3.1. Çalışma Bölgesi.....	20
3.2. Kültürel Yöntem ile Asimile Edilebilir Organik Karbon (AOK) Belirlenmesi.....	23
3.3.İstatistiksel Analiz.....	30
4.BULGULAR ve TARTIŞMA.....	31
4.1. Baraj Suyu Örneklerinin Su Kalitesi Özellikleri.....	31
4.2. Meteorolojik Veriler.....	37
4.3. Baraj Suyu Örneklerinde Toplam Organik Karbon (TOK) Miktarı.....	39

4.4. Baraj Suyu Örneklerinde Belirlenen Asimile Edilebilir Organik Karbon (AOK) Miktarları.....	41
4.5. Asimile Edilebilir Organik Karbon (AOK) Miktarının Toplam Organik Karbon (TOK) Miktarı ile İlişkisi.....	52
4.6. AOK Miktarı ile Bulanıklık Arasındaki İlişki.....	57
4.7. Baraj Suyu Örneklerinde Tespit Edilen AOK Miktarı ile Meteorolojik Veriler Arasındaki İlişki.....	58
5.SONUÇ.....	59
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	65



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
°C	Santigrat derece
%	Yüzde
CFU	Colony Forming Unit
cm	Santimetre
Da	Dalton (atomik kütle birimi)
kDa	Kilodalton
dk	Dakika
L	Litre
m ³	Metreküp
ml	Mililitre
mm	Milimetre
µg	Mikrogram
µl	Mikrolitre
µm	Mikrometre
µS	Mikro simens (iletkenlik birimi)
MW	Moleküler ağırlık
NTU	Nefolometrik Bulanıklık Birimi
pH	Hidrojen iyonu konsantrasyonunun negatif logaritması

Kısaltmalar	Açıklama
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AOK	Asimile Edilebilir Organik Karbon
ATP	Adenozin Tri Fosfat
BÇOK	Biyoparçalanabilir Çözünmüş Organik Karbon
BOM	Biyobozunur Organik Madde
BUSKİ	Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi
ÇOK	Çözünmüş Organik Karbon
DSİ	Devlet Su İşleri
DOM	Doğal Organik Madde
EEM	Floresan Uyarma-Emisyon Matrisi
HBS	Heterotrofik Bakteri Sayısı
NO _x	<i>Aquaspirillum</i> NO _x
P17	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
TOK	Toplam Organik Karbon
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
UV	Ultraviyole
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.1	Bursa ili su kaynakları planı.....	5
Şekil 2.5.1	Toplam organik karbonun alt fraksiyonlarının şematik gösterimi.....	11
Şekil 3.1.1	Örnek alma noktalarının uydu görüntüsü.....	20
Şekil 3.1.2	Doğancı Barajı.....	20
Şekil 3.1.3	Nilüfer Barajı.....	21
Şekil 3.1.4	Çınarcık Barajı.....	22
Şekil 3.1.5	AOK tayini için şişelenmiş su örnekleri.....	23
Şekil 3.2.1	Örnek şişelerinin kül fırınında ölçüme hazırlanması.....	24
Şekil 3.2.2	Cam tıpalı erlen içinde hazırlanmış Nox ve P17 aşıları.....	25
Şekil 3.2.3	Ekim yapıldıktan sonra petrilere gelişim gösteren bakteri kolonileri. a) P17 b) NOx.....	26
Şekil 3.2.4	AOK şişelerine doldurulan örneklerin pastörizasyonu.....	26
Şekil 3.2.5	a) Oda sıcaklığında inkübatörde çalkalanmadan bekletilen AOK şişeleri b) İnkübatörden çıkartılan bir AOK şişesinin belirlenen seyreltmelerinin yapılması ve örneğin petrilere ekimi.....	27
Şekil 3.2.6	Örnek üzerinde gelişim gösteren P17 ve NOx kolonileri.....	28
Şekil 3.2.7	Kültürel yöntem ile gerçekleştirilen AOK analizinde izlenen adımlarının şematik gösterimi.....	29
Şekil 4.1.1	Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajındaki örnekleme noktalarından alınan örneklerin anlık ölçülen ortalama pH değerlerinin mevsimsel değişimi. a) Doğancı barajı, b) Çınarcık barajı, c) Nilüfer barajı.....	32
Şekil 4.1.2	Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarından elde edilen pH verilerinin istatistiksel analizi sonucu SPSS çıktıları.....	33
Şekil 4.1.3	Barajlardaki örnekleme noktalarından alınan örneklerin anlık ölçülen ortalama iletkenlik değerlerinin mevsimsel değişimi. a) Doğancı barajı, b) Çınarcık barajı, c) Nilüfer barajı.....	35
Şekil 4.1.4	Barajlardaki örnekleme noktalarından alınan örneklerin türbidimetrik yöntem ile ölçülen ortalama bulanıklık değerlerinin mevsimsel değişimi. a) Doğancı barajı, b) Çınarcık barajı, c) Nilüfer barajı.....	37
Şekil 4.3.1	Barajlardaki örnekleme noktalarından alınan örneklerdeki TOK miktarının mevsimsel değişimi. a) Doğancı barajı, b) Çınarcık barajı, c) Nilüfer barajı.....	40
Şekil 4.4.1	Doğancı barajındaki örnek alma bölgeleri.....	42
Şekil 4.4.2	a) Baraj içindeki AOK dağılımı b) AOK verilerinin mevsimsel ortalaması (Doğancı Barajı).....	44

Şekil 4.4.3	Çınarcık Barajı örnek alma bölgeleri.....	45
Şekil 4.4.4	a) Baraj içindeki AOK dağılımı b) AOK verilerinin mevsimsel ortalaması (Çınarcık Barajı).....	46
Şekil 4.4.5	Nilüfer Barajındaki örnek alma bölgeleri.....	47
Şekil 4.4.6	a) Baraj içindeki AOK dağılımı b) AOK verilerinin mevsimsel ortalaması (Nilüfer Barajı).....	48
Şekil 4.4.7	Doğancı ve Nilüfer Barajlarını gösteren üç boyutlu uydu görüntüsü.....	49
Şekil 4.4.8	Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarındaki AOK miktarlarının mevsimsel değişim davranışı.....	50
Şekil 4.4.9	Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarından örnekleme dönemi boyunca elde edilen ortalama AOK miktarları.....	50
Şekil 4.4.10	Her bir örnekleme noktasının çalışma boyunca ortalama AOK miktarı...	51
Şekil 4.4.11	AOK verilerine uygulanan normallik testine ait SPSS çıktısı.....	51
Şekil 4.4.12	AOK'nin mevsimsel değişimini değerlendirmek için uygulanan Kruskal Wallis testine ait SPSS çıktısı.....	52
Şekil 4.5.1	Çınarcık barajından elde edilen AOK ve TOK miktarlarının mevsimsel değişim eğrileri.....	53
Şekil 4.5.2	Doğancı barajındaki AOK-TOK miktarlarının mevsimsel değişim eğrileri.....	54
Şekil 4.5.3	Nilüfer barajındaki AOK-TOK miktarlarının mevsimsel değişim eğrileri	55
Şekil 4.5.4	ğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarındaki tüm örnekleme noktalarından elde edilen AOK ve TOK verilerinin dağılım diyagramı ve elde edilen korelasyon değeri.....	56
Şekil 4.6.1	AOK- Bulanıklık arasında oluşturulan dağılım grafiği ve elde edilen r^2 değeri.....	57
Şekil 4.7.1	Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarındaki aylık toplam yağış miktarı ile AOK arasındaki ilişki.....	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.3.1	İçme Suyu Elde Edilen veya Elde Edilmesi Planlanan Yüzeysel Suların Kalitesine Dair Yönetmelik”in Ek-1.....	8
Çizelge 2.4.1	TSE İnsani tüketim amaçlı suların kalitesini belirlemek için incelenen parametreler.....	9
Çizelge 2.4.2	TSE İnsani tüketim amaçlı suların kalitesini belirlemek için incelenen parametreler	10
Çizelge 2.7.1	Asimile Edilebilir Organik Karbon (AOK)'u belirleme yöntemleri.....	12
Çizelge 2.8.1	Çeşitli sularda AOK belirlenmesine yönelik yapılmış çalışmalar.....	19
Çizelge 4.2.1	Örnekleme yapılan aylarda toplam yağışlı gün sayısı.....	38
Çizelge 4.2.2	Aylık ortalama yağış miktarı.....	38
Çizelge 4.2.3	Aylık ortalama sıcaklık değerleri.....	39
Çizelge 4.5.1	Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarında ölçülen AOK ve TOK miktarının oranı.....	56
Çizelge 4.5.2	Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarında hesaplanan TOK içerisindeki % AOK değerleri.....	57

1. GİRİŞ

Canlı yaşamın devam etmesi için elzem olan su ihtiyacı, temiz suya erişimi insani bir hak ve zorunluluk haline getirmiştir. Çeşitli insani kuruluşların verilerine göre yaklaşık 2.2 milyar kişi temiz ve güvenilir içme suyuna ulaşamamaktadır (WHO, 2019). Dünya nüfusunun artması, küresel ısınmanın hissedilir etkileri gibi sebepler, doğal ortamların ve özellikle su kaynaklarının üzerindeki baskıyı arttırmaktadır. 2020 yılında Türkiye’de yıllık kişi başına düşen su miktarı 1346 m³’tür (DSİ, 2020). Bu doğrultuda bilinenin aksine Türkiye su zengini bir ülke değil, tersine Dünya Kaynakları Enstitüsü (WRI)’ye göre su sıkıntısıyla karşı karşıya kalan ülkeler sıralamasında 32. sırada yer almaktadır (WRI, 2019). İnsani tüketim amaçlı kullanılmak üzere doğal haliyle ya da arıtıldıktan sonra gıda hazırlama veya evsel kullanımda insan sağlığı için önem arz edecek olan içme suları, çeşitli kaynaklardan (kaynak suları, yeraltı suları, nehirler ve göllerden) temin edilip barajlar gibi rezervuarlarda biriktirilirler (Sağlık Bakanlığı, 2005). Canlıların yaşamı için çok kıymetli olan su, diğer bir yandan doğru yönetilmediği takdirde ölümcül hastalıklara ve hatta salgınlara neden olma potansiyeline sahiptir (Eker & Kantarlı, 2020). İnsani tüketim için kullanılan sular fiziksel ve kimyasal parametrelerin yanı sıra mikrobiyolojik olarak da standartlara uygun olmalıdır (WHO, 2022).

İçme suyunun hastalık yapıcı patojenlerden arındırılarak dezenfekte edilmesi halk sağlığı için çok önemli bir husustur. Kentlerde ve kırsalda şebeke suyunun kullanılmasıyla birlikte suyla bulaşan hastalıkların görülme sıklığı azalmıştır (Kaya, 2017). Burada dezenfeksiyon prosesleri büyük önem taşımaya rağmen tüketicinin kullanımına kadar içme suyunun mikrobiyolojik kararlılığını koruması yani içme suyunun yeniden bakteri büyümesini desteklememesi halk sağlığı açısından önemli olan bir diğer husustur (Charnock & Kjønno, 2000). Dağıtım sistemine mikrobiyolojik açıdan kararlı durumda verilen suda halkın kullanımına arzı sırasında dezenfeksiyonun yeterli gelmemesi ya da tesirinin az olması gibi sebepler nedeniyle heterotrofik bakteri (HB) büyümesi söz konusu olabilmektedir (Kaplan vd., 1993; van der Kooij, 1992; van der Kooij, Oranje, vd., 1982). Bu durumda içme suyu istenilen standartların dışına çıkmakta ve hijyen problemlerinin yanı sıra renk ve bulanıklık gibi estetik problemler

de görülebilmektedir (Alkan Ufuk, 2005; Charnock & Kjénné, 2000; Hem & Efraimsen, 2001a; Levy vd., 1986; G. Liu vd., 2013; Sai Hyun Lee vd., 1980; van der Kooij & Hijnen, 1984; H. Wang vd., 2014). Sucul ortamda farklı karbon kaynaklı bileşiklerin çok düşük konsantrasyonlarda bile yeniden çoğalmayı tetiklediği bilinmektedir (W. T. Chen vd., 2022; Ren & Chen, 2021a). Bakterilerin yeniden çoğalması temelde organik içerikten kaynaklansa da inorganik bileşiklerin de yeniden büyümeye etkili olduğunu gösteren sınırlı sayıda çalışma mevcuttur (W. T. Chen vd., 2022).

İçme sularında mikrobiyal yeniden büyümenin bir göstergesi olarak kabul edilen ve biyolojik olarak parçalanabilir organik karbonun küçük bir kısmı olarak kabul edilen Asimile Edilebilir Organik Karbon (AOK) (Choi vd., 2019a; Kaplan vd., 1993; van der Kooij, 1992), bakteriyel yeniden büyümenin tespitinde kullanılan yöntemler arasında hassas ölçüm aralığına sahip olması, standart metotlar tarafından önerilmesi ve asetat karbonunun etkin bir şekilde ölçümünü sağlaması nedeniyle başta içme suyu olmak üzere deniz suyu, atıksu ve toprak kapiler suyu analizlerinde tercih edilmektedir. (Escobar & Randall, 2001; Huck, 1990).

Mikroorganizmaların yaşamsal faaliyetlerini gerçekleştirebilmesi için ortamda nutrient miktarının 100 C: 10 N: 1 P oranlarında bulunması gerekmektedir. Bu bağlamda suda bulunan doğal organik bileşikler (DOM) ve biyolojik olarak parçalanabilir organik maddeler (BOM) eser miktarda olsa dahi yeniden büyümeyi teşvik edebilmektedirler (Charnock & Kjénné, 2000; Ross vd., 2013; van der Kooij vd., 2003). Toplam organik karbonun (TOK) yalnızca küçük bir fraksiyonunu oluşturan (% 0,1-% 9), BOM'un ise bakteriyel biyokütle halini temsil eden ve heterotrofik bakterilerin başlıca substrat kaynağı olan AOK, suyun yeniden bakteri çoğalmasını destekleme potansiyelini gösterir (Charnock & Kjénné, 2000; F. Hammes vd., 2006; Polanska, Huysman, & Van Keer, 2005; van der Kooij, 1992; van der Kooij & Hijnen, 1984). İçme sularında biyostabilitenin korunması için van der Kooij tarafından önerilen sınır değerlerin dezenfekte edilmemiş sular için 10 µg C/L altında AOK iken, 0,5 mg/L'nin üzerinde serbest klor içeren veya 1 mg/L kloramin bulunan sular için 50-100 µg C/L AOK arasındadır (van der Kooij, 1992). Easton (1993) ise içme sularında 20 µg C/L az AOK

yada 200 µg C/L'dan az biyolojik olarak çözünebilir organik karbon (BÇOK) olduğunda yeniden çoğalmanın gözlemlenmeyeceğini belirtmiştir.

Göl ve baraj gölleri gibi kapalı ekosistemlerde başta olmak üzere insan popülasyonundaki artışa paralel olarak gün geçtikçe artan çevre kirliliği temiz su kaynaklarını tehdit etmektedir. Ülkemizdeki akarsuların büyük bir kısmının alıcı ortam özelliği göstermesi nedeniyle doğal göller ve baraj gölleri çevre kirliliğinden önemli ölçüde etkilenmektedir (Küçükylmaz vd., 2017). Bu bağlamda İçme suyu kaynaklarının düzenli olarak kimyasal ve mikrobiyolojik açıdan izlenmesi, içme suyu arıtımında kullanılan proseslerin verimliliğinin değerlendirilmesi ve gelecekte yapılacak olan olası bir kapasite arttırımı durumunda kullanılacak arıtma yöntemlerinin yeniden gözden geçirilmesi aşamasında yol gösterici olacaktır (Elhadidy vd., 2016). Su kütlelerinde su kalitesini etkileyen parametrelerin takip edilmesi hususunun, gelecek dönemlerde mevcut tesislerdeki arıtma performansının değerlendirilmesi açısından ve yapılacak olan yeni alt yapı projelerinin tasarlanmasında kayda değer bir öngörü sağlayacağı düşünülmektedir (Elhadidy vd., 2016).

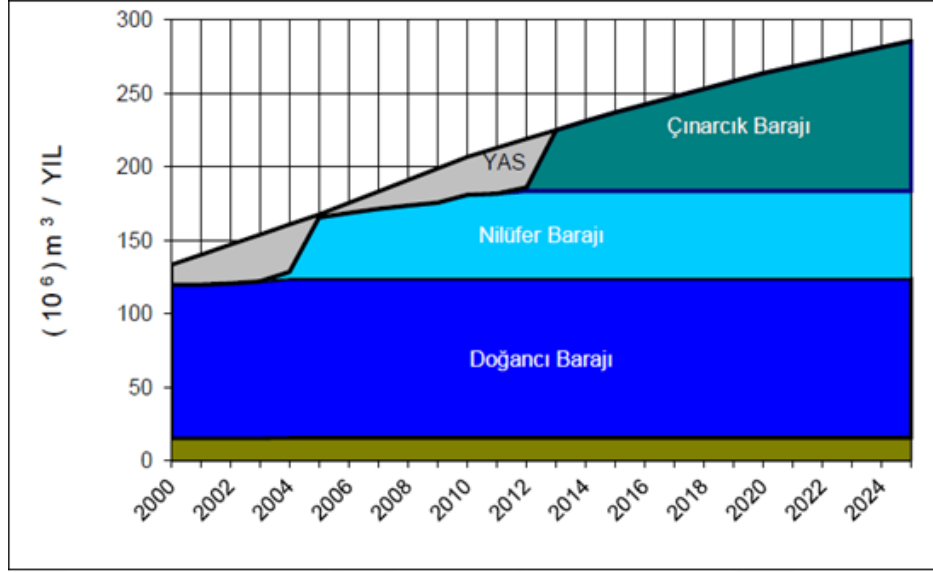
Yapılan bu yüksek lisans tezi çalışmasında Bursa ilinde içme suyu temini için kullanılan Doğanç, Çınarcık ve Nilüfer baraj göllerinin su kalitesi parametrelerinin değerlendirilmesi ve içme suyu olarak kullanılan baraj gölü sularındaki “Asimile Edilebilir Organik Karbon” (AOK) miktarının mevsimsel olarak belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla toplanan su numunelerinde kültürel yöntem ile AOK analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiksel yöntemler kullanılarak değerlendirilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Bursa İli Su Kaynakları

Bursa'nın Marmara Denizi'ne olan kıyı şeridi nedeniyle yumuşak hava koşulları görülen bölgeleri olmakla beraber Bursa'nın iç kesimlerine doğru ve Uludağ'da sert iklim koşulları görülmektedir. Genel olarak Akdeniz iklimi baskın olup Karadeniz ikliminin geçiş koşulları da gözlemlenmektedir. Bursa yağış alma bakımından uygun iklim özelliklerinin olmasına rağmen küresel iklim değişikliği nedeniyle su kıtlığı tehdidi altındadır. Son yıllarda barajlarda seyreden düşük miktardaki su rezervi yerel ve ülke basınında da yer almaktadır ve bu durum kamuoyu tarafından endişe vericidir.

Bursa ilinin su ihtiyacı yüzeysel sular, pınarlar ve yeraltı suları tarafından karşılanmaktadır. İçme suyu temini amacıyla kullanılan toplamda 170 milyon m³/yıl kapasiteli iki baraj şehir merkezinin içme suyu ihtiyacının yaklaşık % 69'unu karşılamakta olup, yeraltı sularından 33 milyon m³/yıl ve pınarlardan 15 milyon m³/yıl su şehir şebekesinde kullanılmaktadır. Bursa merkez ve ilçelerle birlikte toplam su kaynaklarının miktarı yıllık 365 milyon m³'tür. İlçelerde yapımı devam eden 6 adet baraj bulunmaktadır. Şekil 2.1.1'de Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından Bursa ili su kaynaklarının 2040 yılına kadar planlanan miktarları gösterilmektedir (ÇMO Bursa Şubesi, 2022; Teksoy vd., 2017; Yalılı Kılıç vd., 2013; Yalılı Kılıç & Akal Solmaz, 2016) .



Şekil 2.1. 1 Bursa ili su kaynakları planı (ÇMO Bursa Şubesi, 2022)

2.2.Barajlara Dair Genel Bilgiler

Kamunun içme suyu elde etmesi, tarımsal sulama, enerji üretimi, balıkçılık faaliyetleri ya da rekreasyonel kullanım gibi ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla akarsu üzerindeki su akışının engellenmesi ve suyun insan yapımı ya da doğal bir hazne içerisinde biriktirilmesi sonucu “baraj” olarak adlandırılan su yapıları oluşmaktadır (Ağıralıoğlu N, 2007).

Mevcut durumda ülkemizde aktif şekilde işletilen 861 adet baraj bulunmaktadır (DSİ 1.Bölge Müdürlüğü, 2022). Bugün Bursa ilinde yapımı tamamlanmış 23 baraj ve 25 gölet bulunmakta olup Doğancı Barajı, Nilüfer Barajı ve Çınarcık Barajının işletimi halkın içme suyu talebinin karşılanması için Bursa Büyükşehir Belediyesine devredilmiştir (BUSKİ Genel Müdürlüğü, 2022; DSİ 1.Bölge Müdürlüğü, 2022).

2.3. Baraj Göllerinin Özellikleri

Baraj gölleri, içme suyu temini, tarımsal sulama ve enerji üretmek amacıyla yapay bir set ile bulundukları havzadaki akışı keserek yapay bir rezervuar oluştururlar. Baraj gölleri uzun ve derin olmaları nedeniyle hem akarsu hem de göl ekosistemine benzemektedirler (Gergin & Cuci, 2017). Akarsular sayesinde meydana gelen düzenli

ve yüksek akış, baraj göllerinde organik içeriğin artmasına, bu nedenle katı madde, bulanıklık ve faydalı hacmin azalmasına sebebiyet verirken baraj göllerinin sahip olduğu derinlik mevsimsel olarak baraj sularının tabakalaşmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte göller her daim alıcı ortam statüsünde olduklarından ve baraj gölleri akış hızının yüksek olduğu havzalarda bulunmaları sebebiyle kirleticilerden daha çok etkilenmektedirler. Bahsedilen olumsuzluklar su kalitesinde istikrarsızlığa yol açacağından yüzeysel sularda tat, koku ve mikrobiyolojik problemlere sıkça rastlanılmaktadır (Bilgin, 2003; Fakioğlu vd., 2011; Jorgensen vd., 2005).

İçme suyu sağlamak için planlanan su yapıları özel koruma bölgeleridir. Ülkemizde içme suyu temini amacıyla yapılan su yapıları Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından hazırlanan İçme-Kullanma Suyu Havzalarının Korunmasına Dair Yönetmeliğine tabidirler (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2011). Yönetmelik esaslarında açıkça belirtildiği üzere içme suyu temini için yapılmış su yapıları her türlü insan, hayvan, sel ve atıksuların yaratacağı tehlikelere ve su kalitesinin bozulmasına karşı korunur ve ek olarak bu alanlar “İçme Suyu Elde Edilen veya Elde Edilmesi Planlanan Yüzeysel Suların Kalitesine Dair Yönetmelik”in Ek-1’inde yer alan parametrelerce izlenirler (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2012). Aşağıdaki Çizelge 1.1’de su kalitesine göre sınıflandırılmış içme suyu elde edilen veya elde edilmesi planlanan yüzeysel sularda izlenen parametrelere ek olarak uyulması tavsiye edilen kılavuz değerleri ve uyulmasının zorunlu olduğu parametreler verilmiştir. Çizelge yüzeysel suların arıtılabilirliğine göre sınıflandırılmıştır. Bu bağlamda sınıflandırma aşağıdaki şekildedir:

A1: Arıtılması kolay, basit fiziksel arıtım ve dezenfeksiyonla içilebilir hale gelen yüzeysel sular

A2: Fiziksel arıtım, kimyasal arıtım ve dezenfeksiyon ünitelerinin ardından içilebilir yüzeysel sular

A3: Arıtılması zor, fiziksel arıtma, kimyasal arıtma, ileri arıtma prosesleri ve dezenfeksiyon ile içilebilir yüzeysel sular (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2012).

Çizelge 2.3.1 İçme Suyu Elde Edilen veya Elde Edilmesi Planlanan Yüzeysel Suların Kalitesine Dair Yönetmelik”in Ek-1

	İzlenecek Parametreler	A1 K	A1 Z	A2 K	A2 Z	A3 K	A3 Z
1	pH	6,5-8,5		5,5-9		5,5-9	
2	Renk (filtrasyon sonrası) (Pt-Co Birimi)	10	20 (İ)	50	100 (İ)	50	200(İ)
3	Toplam askıda katı madde (AKM) (mg AKM/L)	25					
4	Sıcaklık (°C)	22	25 (İ)	22	25 (İ)	22	25 (İ)
5	İletkenlik (20 °C’de) (µS/cm)	1000		1000		1000	
6	Koku (25 °C’de seyrelme faktörü)	3		10		20	
7*	Nitrat (mg NO ₃ /L)	25	50 (İ)		50 (İ)		50 (İ)
8	Florür (mg F/L)	0,7-1	1,5	0,7-1,7		0,7-1,7	
9	Alüminyum (mg Al/L)	0,3		0,3		1	
10*	Çözülmüş demir (mg Fe/L)	0,1	0,3	1	2	1	
11*	Mangan (mg Mn/L)	0,05		0,1		1	
12	Bakır (mg Cu/L)	0,02	0,05 (İ)	0,05		1	
13	Çinko (mg Zn/L)	0,5	3	1	5	1	5
14	Bor (mg B/L)	1		1		1	
15	Kobalt (mg Co/L)	0,01		0,02		0,2	
16	Nikel (mg Ni/L)	0,02		0,05		0,2	
17	Arsenik mg As/L	0,01	0,05		0,05	0,05	0,1
18	Kadmiyum (mg Cd/L)	0,001	0,005	0,001	0,005	0,001	0,005
19	Toplam krom (mg Cr/L)		0,05		0,05		0,05
20	Kurşun (mg Pb/L)		0,05		0,05		0,05
21	Selenyum (mg Se/L)		0,01		0,01		0,01
22	Civa (mg Hg/L)	0,0005	0,001	0,0005	0,001	0,0005	0,001
23	Baryum (mg Ba/L)		0,1		1		1
24	Siyanür (mg Cn/L)		0,05		0,05		0,05

Çizelge 2.3.2 İçme Suyu Elde Edilen veya Elde Edilmesi Planlanan Yüzeysel Suların Kalitesine Dair Yönetmelik”in Ek-1 (devam)

25	Sülfat (mg SO ₄ /L)	150	250	150	250 (İ)	150	250 (İ)
26	Klorür (mg Cl/L)	200		200		200	
27	Anyonik yüzey aktif maddeler (Metilen mavisine aktif maddeler; MMAM) (mg MMAM/L)	0,2		0,2		0,5	
28	Reaktif fosfor (Ortofosfat ve kolay hidroliz olabilen kondanse fosforlar) (mg P/L)	0,4		0,7		0,7	
29	Fenoller (mg C ₆ H ₅ OH/L)		0,001	0,001	0,005	0,01	0,1
30	Hidrokarbonlar (mg/L)		0,05		0,2	0,5	1
31	Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (mg/L)		0,0002		0,0002		0,001
32	Toplam pestisit (mg/L)		0,001		0,0025		0,005
33	Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) (mg O ₂ /L)	15		30		40	
34	Çözülmüş oksijen doygunluk oranı (%)	>70		>50		>30	
35	Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ ₅) (Nitrifikasyon prosesi engellenmiş) (mg O ₂ /L)	<3		<5		<7	
36	Toplam kjeldahl azotu (mg/L)	1		2		3	
37	Amonyak azotu (NH ₃ -N) (mg N/L)	0,05		1	1,5	2	4(İ)
38	Toplam organik karbon (TOK) (mg C/L)	5		8		12	
39	Toplam koliform (37 °C’de) (EMS/100 mL)	50		5.000		50.000	
40	Fekal koliform (EMS/100 mL)	20		2.000		20.000	
41	Fekal streptokok (EMS/100 mL)	20		1.000		10.000	
K: Kılavuz değer, Z: Zorunlu değer, İ: İstisnai iklimsel ya da coğrafik şartlar, *: bkz.12 nci maddenin ç bendi							

2.4. İçme ve Kullanma Sularının Özellikleri

Barajlarda toplanan su içme suyu arıtma tesislerinde gerekli arıtma işlemleri, filtrasyon ve dezenfeksiyonun ardından dağıtım şebekesi aracılığıyla halka ulaştırılır. Güvenilir ve sağlıklı bir içme suyunun başlıca özellikleri renksiz, tatsız, kokusuz, berrak, korozif olmayan ve sıcaklığının tercihen yaklaşık 15 °C’de olmasıdır (Sözer, 2006). Ülkemizde tüketilmek üzere içme suyunun fiziksel, kimyasal ve hijyenik kalitesinin standartlaşması için Sağlık Bakanlığı tarafından çıkartılmış “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik” adlı bir yönetmelik mevcuttur (Sağlık Bakanlığı, 2005). Bakanlığa ait yönetmeliğe ek olarak Türk Standardı Enstitüsü (TSE) insani tüketim amaçlı suların kalitesine yönelik belirlenmiş standartlar mevcuttur (TSE, 2005).

Çizelge 2.4. 1 TSE İnsani tüketim amaçlı suların kalitesini belirlemek için incelenen parametreler (TSE, 2005)

Mikrobiyolojik Özellikler		
Özellik	Değer, en çok	
	Sınıf 1 ve Sınıf 2 Tip 1	Sınıf 2 Tip 2
<i>Escherichia coli</i> (<i>E.coli</i>)	0/250 mL	0/100 mL
<i>Enterococci</i>	0/250 mL	0/100 mL
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0/250 mL	-
Koloni sayısı, 22°C'ta	100/mL	-
Koloni sayısı, 37°C'ta	20/mL	-
Kimyasal Özellikler		
Antimon (µg/L)	5,0	5,0
Arsenik (µg/L)	10	10
Benzen (µg/L)	1,0	1,0
Bor (µg/L)	1,0	1,0
Bromat (µg/L)	10	10
Kadmiyum (µg/L)	5,0	5,0
Krom (µg/L)	50	50
Bakır (µg/L)	100	2000

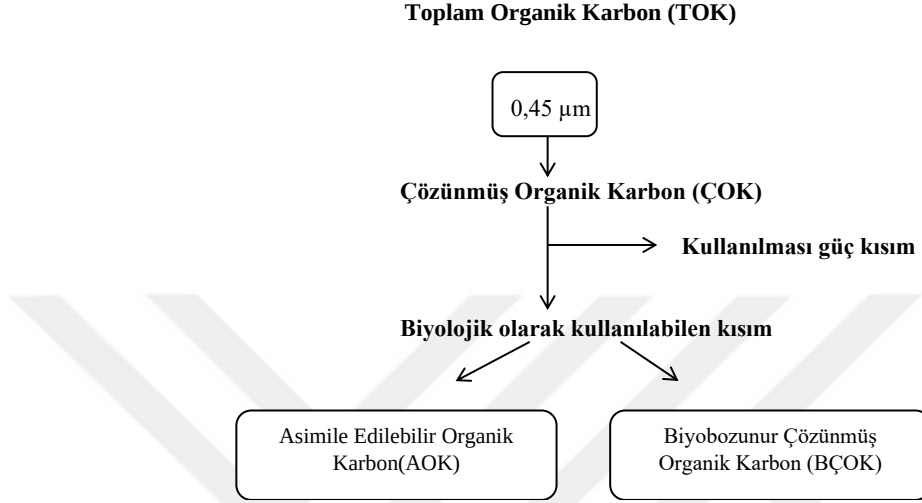
Çizelge 2.4. 2 TSE İnsani tüketim amaçlı suların kalitesini belirlemek için incelenen parametreler (TSE, 2005) (devam)

Siyanür (µg/L)	50	50
Florür (µg/L)	1,0	1,5
Kurşun (µg/L)	10	10
Civa (µg/L)	1,0	1,0
Nikel (µg/L)	20	20
Nitrat (µg/L)	25	50
Nitrit (µg/L)	0,10	0,50
Pestisitler (µg/L)	0,10	0,10
Toplam pestisit (µg/L)	0,50	0,50
PAH (µg/L)	0,10	0,10
Selenyum (µg/L)	10	10

2.5. Sularda Asimile Edilebilir Organik Karbonun DOM, ÇOK ve TOK ile ilişkisi (Sularda Doğal Organik Maddeler)

Doğal sularda sıklıkla bulunan doğal organik madde miktarı, ortamın jeolojik yapısından, evsel veya endüstriyel kirlilik kaynaklı olarak büyük ölçüde hümk maddelerden, karboksilik asitler, benzoik asitler, ketonlar ve aldehitlerden meydana gelmektedir (F. Hammes vd., 2006). Yüzeysel sularda doğal organik madde miktarının fazla olması, renk probleminin yanı sıra mikrobiyal yaşama besin kaynağı olması nedeniyle de çeşitli olumsuzluklar yaratmaktadır (F. Hammes vd., 2006; Terry & Summers, 2018). Sulardaki DOM'un oksitlenmesiyle AOK'nin büyük bir kısmını meydana getiren düşük moleküler ağırlıklı yapılar meydana gelmektedir (F. Hammes vd., 2007). Hem ve Efraimsen (2001) yapmış olduğu bir çalışmada AOK'nin moleküler ağırlığı (MW) 1000'den küçük olan doğal organik maddelerle ilişkili olduğunu raporlamışlardır (Hem & Efraimsen, 2001a). Doğal organik maddenin oksitlenmesiyle meydana gelen, yüzeysel suların tamamında bulunan biyobozunur organik madde (BOM)' da yeniden büyümeyi etkileyen ve bakteriler için besin kaynağı olan bileşiklerdir (Elhadidy vd., 2016; Terry & Summers, 2018; Wricke vd., 2002). Bu bağlamda biyolojik olarak parçalanabilir organik karbon, çözünmüş organik karbon

(ÇOK) ve AOK, sulardaki bakteriyel yeniden çoğalmanın izlenmesinde gösterge olarak kabul edilmektedir (Choi vd., 2019a; Elhadidy vd., 2016; F. Hammes vd., 2006, 2007). Şekil 2.5.1’de toplam organik karbonun oksitlenmesiyle meydana gelen fraksiyonları ve AOK ile olan ilişkileri gösterilmiştir.



Şekil 2.5.1 Toplam organik karbonun alt fraksiyonlarının şematik gösterimi

2.6. Yüzeysel Sularda ve İçme Sularında Asimile Edilebilir Organik Karbon (AOK)

Doğal sular, bulundukları havzanın ekolojik yapısı, fiziksel şartları, içerdikleri organik madde miktarı, ölçüm yöntemi gibi faktörlere bağlı olarak farklı miktarlarda AOK içerebilirler (Lechevallier vd., 1993). Bölüm 2.7’de bulunan Çizelge 2.7.1’de de görüldüğü üzere çeşitli bölgelerdeki göl suyu ve nehir sularında tespit edilen AOK miktarı oldukça geniş bir konsantrasyon aralığında dağılım göstermektedir. Doğal sulara nazaran nispeten yüksek konsantrasyonlarda AOK içeren içme sularındaki AOK miktarı ise genellikle giriş suyu kalitesi, depolama süreci, uygulanan arıtma yöntemi ve uygulanan dezenfeksiyon yöntemine bağlı olarak farklılık göstermektedir (Lechevallier vd., 1991; X. Liu vd., 2015; Shi-Hu vd., 2008). Özellikle içme sularında biyostabilitenin korunması için van der Kooij tarafından öne sürülen AOK analizi, özellikle içme suyu veya yüzeysel sularda bulunabilecek heterotrofik bakteri ve patojenleri tespit etmekte bir gösterge olarak kullanılmaktadır (Kaplan vd., 1993; Lechevallier vd., 1993; van der Kooij, 1992). Klorlanmış sularda bile görülebilen patojenler toplum sağlığı açısından olumsuz sonuçlar meydana getireceğinden, van der Kooij dezenfekte edilmemiş sular

için bakteri büyümesini kısıtlayan sınır değeri 10 µg/l AOK ila 20 µg/l AOK, dezenfeksiyon uygulanmış ve içinde en az 0,5 mg/L dezenfektan kalıntısı bulunan sular için 50-100 µg/l AOK olarak belirlemiştir. Bu konsantrasyonlar dahilinde sularda bakteri büyümesinin kısıtlanacağı ön görülmektedir. (Lechevallier vd., 1993; van der Kooij, 1992; van der Kooij, Visser, vd., 1982; van der Kooij & Hijnen, 1984)

2.7. Asimile Edilebilir Organik Karbon Miktarının Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler

Günümüzden 40 yıl önce ilk kez ortaya atılan hücre sayımına dayalı klasik AOK tayini (van der Kooij, 1992) meşakatli ön hazırlık süreci, petri sayımı esnasında olabilecek olumsuzluklar ve en az 12-13 günde elde edilen sonuçlar nedeniyle AOK tayini daha hızlı sonuç verebilen ve daha az emek yoğunluğu içeren çeşitli modifikasyonlarla geliştirilmeye devam etmektedir (S. Wang vd., 2022). Bilinen 5 farklı AOK yöntemi veya farklı varyasyonları mevcuttur (F. Hammes, 2008; Tang vd., 2018). Çizelge 2.7.1’de yaygın olarak kullanılmakta olan AOK analiz yöntemleri avantaj ve dezavantajları ile birlikte sıralanmıştır.

Çizelge 2.7.1 Asimile Edilebilir Organik Karbon (AOK)’u belirleme yöntemleri

Analiz yöntemi	Avantaj	Dezavantaj
Kültürel yöntem	-Ucuzdur. -Standart metotlarda bulunan güvenilir bir yöntemdir.	-Emek yoğun bir yöntem. -Vakit alıcı. -Petri sayımı esnasında hataya açık.
ATP Lüminesans	- Hızlı sonuç verir. -Güvenilir bir yöntemdir.	-Pahalıdır. -Cihaz gereksinimi var.
Akış sitometrisi	-Hızlı sonuç verir. -Yüksek verimlilikte bakteri sayımı -Farklı suşların tespit edilebilir olması -Yerel kültürler kullanılabilir.	-Pahalıdır. -Kültürel yöntemle göre eser miktarda yüksek sonuç verir. -Cihaz gereksinimi var.
Floresan uyarma-emisyon matrisi (EEM)	-Doğal ve suni hazırlanmış su kütleleri için uygun -Atıksu ve geri kazanılmış sularda uygulanabilir. -Çevrimiçi izleme potansiyeli var.	-Pahalıdır. -Cihaz gereksinimi var. - Yetişmiş personel ihtiyacı mevcut. -AOK için uyarlanan ve geliştirilmekte olan bir yöntemdir.

2.7.1 Kültürel Yöntem

İçme suyu dağıtım şebekelerinde mikrobiyal kalitenin devamlılığını korumak için yapılan çalışmalarda ilk olarak van der Kooij tarafından geliştirilen kültürel yöntemde içme suyundan elde ettiği *Pseudomonas fluorescens* (P17) suşunu kullanmıştır (van der Kooij, 1992). Yüzeysel sular, yeraltı suları ve şebeke suyunda bulunabilen ve AOK'yi oluşturan 1000 Da'dan küçük kolayca parçalanabilen aminoasitler, aromatik asitler, hidrokarboksilik asitler, alkoller ve polisakkaritler haricindeki karbonhidratları metabolize edebilen P17'nin yetersiz kaldığı bileşikler göz önüne alınarak daha doğru bir AOK hesaplamak için, ozonlama sonucu oluşan düşük moleküler ağırlıklı karboksilik asitleri, formatları, glikatları ve oksalatı metabolize edebilen *AquaSpirillum* (NOx) da yöntemde dahil edilmiştir (Choi vd., 2019; Shi-Hu vd., 2008; van der Kooij, 1992; Van Der Kooij & Hijnen, 1984).

Kültürel yöntemin temel esası su örneğine aşılana iki referans bakteri kültürünün durgun faza ulaşmasıyla birlikte elde edilen maksimum bakteri sayısının dönüşüm faktörleri kullanılarak asetat karbonu (asetat-C) cinsinden AOK değeri hesaplamaya dayanmaktadır. Standart metotlarda da belirtildiği gibi organik karbon içermeyen şişelere aktarılan pastörize örnek üzerine 500 CFU/ml *Aquaspirillum* NOx (ATCC 49643) ve 500 CFU/ml *Pseudomonas fluorescens* P17 (ATCC 49642) aşılır. Her gün için üç paralelli aşılana şişeler maksimum bakteri sayısına ulaşmaya kadar 15° C'de karanlıkta çalkalanmadan inkübe edilir. Kuluçkanın 7., 8. ve 9. günlerinde örnekler 10⁻², 10⁻³ ve 10⁻⁴ seyreltmelerde yüzeye yayma metodu kullanılarak R2A agar üzerine duplike ekim yapılır. Petri kapları 25° C'de inkübe edilir. Her iki bakteri türü hem koloni morfolojileri açısından hem de petri kabındaki inkübasyon sürelerinin farklılığı açısından birbirlerinden kolaylıkla ayrılabilirler. İlk gelişim gösteren *Pseudomonas fluorescens* P17 3-4 mm çapında krem renkli koloniler oluştururken, daha sonra gözlemlenen *Aquaspirillum* NOx ise beyaz-saydam 1-2 mm çapında koloniler oluşturmaktadır.

Kültürel yöntem her ne kadar emek yoğun ve sonuç alma süresi uzun olsa da standart metotlar tarafından önerilen ve diğer yöntemlere kıyasla daha ekonomik bir tercihtir

(Lechevallier vd., 1993). Liu W. Ve diğ. (2002) Çin’de bir içme suyu arıtma tesisi ve beraberindeki dağıtım sisteminde AOK konsantrasyonunu hesaplamak için kültürel yöntem AOK analizini kullanarak 97-293 µg/l aralığında değişim gösteren konsantrasyon hesaplamışlardır (W. Liu vd., 2002). Yapılan bir diğer çalışmada ise Taşkın K. (2021) Bursa ili içme suyu dağıtım şebekesinin iki bölgesindeki AOK’yi klasik yöntem ve lüminesans yöntemini kullanarak belirlemiştir. İki yöntemden de elde edilmiş sonuçlarda kültürel yöntem ile 137 µg C/ L ve ATP lüminesans yöntemi ile 214 µg C/ L AOK tespit etmiştir. Bursa ili içme suyu dağıtım sisteminin AOK sınır değerlerinin üzerinde olduğu kaydedilmiştir (Taşkın, 2021). Kültürel yöntemin bir diğer avantajı ise farklı karakterdeki sulara uygulanabilmesi için çeşitli bakteri kültürleri veya yerel bir kültürün izole edilmesi ile tayinin gerçekleştirilir olmasıdır (Haddix vd., 2004; Kemmy vd., 1989; Miettinen vd., 1999; Zhao vd., 2013).

2.7.2 Adenozin tri fosfat (ATP) Lüminesans ile AOK Ölçümü

AOK ölçümü için Standart Metotlarda yer alan kültürel yöntemin ön hazırlık aşamaları, inkübasyon süresinin uzun olması, seyreltme işlemi ve plaka sayımında yaşanabilecek insan faktörüne bağlı hatalar gibi dezavantajları nedeniyle AOK tayini süresini kısaltacak bir yöntem geliştirme ihtiyacı duyulmuştur (LeChevallier M. W., Shaw, Kaplan, & Bott, 1993). İlk olarak 1960’larda su içindeki mikrobiyal hareketliliğin tespiti için kullanılan ATP yöntemi daha sonraki yıllarda LeChevallier ve arkadaşları tarafından AOK analizini hızlandırmak için metot geliştirme çalışmaları sırasında asetat karbonu verim katsayılarını kullanarak AOK ölçümü yapmıştır ve klasik yöntemle yeni bir alternatif sunmuştur (Kaplan vd., 1993; Lechevallier vd., 1993). Bu yöntemde mL başına düşen aşı miktarı ve kuluçka sıcaklığını arttırarak ATP lusiferin-lusiferaz yöntemini kullanmışlardır. Bir nükleotit olan ATP yaşam fonksiyonlarını devam ettiren her hücrede bulunur ve hücre içinde gerçekleşen biyokimyasal reaksiyonlar için gerekli enerji transferinde görev almaktadır (Aytaç Aykut S vd., 2001; Karl, 1980) Yöntemin çalışma prensibi, ATP’nin oksijen ve lusiferaz enzimi ile birlikte ışık üretimini destekleyen lusiferin maddesini okside edip, reaksiyon sonucu ortaya çıkan biyolüminesans ışığın lüminometre ile ölçülmesi sonucu bağıl ışık birimi (RLU) cinsinden elde edilen değerin ATP konsantrasyonuna dönüştürülmesidir (Holm-Hansen & Booth, 1966; Leitão & Esteves da Silva, 2010; Stanley P.E., 1989; Webster JJ vd.,

1985). Yöntemin diğer bir avantajı ise numune hacmi ve aşının arttırılmasıyla daha yüksek lüminesansa ulaşılabilir ve optimize edilebilir olmasıdır (Li vd., 2017).

Geri kazanılmış sularda farklı bakteriyel kültürlerin AOK ölçümündeki etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, yerel bir kültür kullanarak ATP lüminesans yöntemi aracılığıyla AOK analizini gerçekleştiren Li ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmanın sonucunda su örneklerinde tespit ettikleri ATP'nin saf çözeltideki asetat karbonuna dönüştürerek AOK miktarını hesaplamışlardır (Li vd., 2017). Yine geri kazanılmış sularda yapılan bir başka çalışmada ise klasik yöntem AOK analizi ve ATP lüminesans yöntemi ile elde edilmiş AOK değerleri arasında pozitif yönde güçlü bir ilişkinin olduğunu ortaya koymuştur (Weinrich vd., 2010).

2.7.3 Akım Sitometrisi ile AOK Ölçümü

Hammes ve Egli (2005) tarafından önerilen floresan boyama ve akım sitometrisinin değiştirilerek birlikte kullanıldığı bu yöntemde bir akışkan içerisinde akan hücrelerin nükleik asit veya seçici RNA boya ile boyanarak akış esnasında aydınlatılan bölümden geçerken hücrelerden alınan verilerin analiz edilmesi sonucu AOK değerinin belirlenmesi esasına dayanır (Dunphy, 2004; F. A. Hammes & Egli, 2005; Karaboz vd., 2008).

Akım sitometrisinin hızlı sonuç vermesi, güçlü bir istatistiksel güvenilirliğe sahip olması, farklı suşların tespit edilmesi, bakteri sayımındaki yüksek hassasiyeti yöntemin avantajlarıdır. İlaveten yöntemin farklı nitelikteki sulara uyarlanabilmesi için yeni çalışmalara ihtiyaç duymaktadır. Akım sitometrisi ile yapılmış çalışmalarda elde edilen sonuçların kültürel yöntemle yüksek korelasyon gösterdiği fakat kültürel yöntemle göre eser miktarda daha yüksek sonuçlar elde edildiği görülmektedir (X. Liu vd., 2015).

Literatürde yapılmış çeşitli çalışmalarda akım sitometrisinin içme suyu ve yüzeysel suların kalite parametrelerinin gözlemlenmesinde hızlı sonuç vermesi nedeniyle tercih edildiği görülmektedir. Elhadidy ve arkadaşları organik karbon içeriği ve partikül madde içeriğinin yüksek olduğu bir yüzeysel suda yerel aşı ve akım sitometrisi yöntemini kullanarak AOK miktarını belirlemişlerdir (Elhadidy vd., 2016).

Akım sitometrisi farklı optimizasyonların da uygulanabildiği bir yöntemdir. Yapılan bir çalışmada pek çok avantajının yanı sıra pahalı bir yöntem olarak bilinen akım sitometrisinin maliyetini düşürmek amacıyla floresan boya kullanmak yerine Tn5 transpozon mutajenezi kullanarak elde edilmiş GEP-P-17 suşunda işaretlenmiş bir yeşil floresan proteini ve akış sitometrisini kullanarak bir içme suyu arıtma tesisinde bulunan proseslerdeki AOK miktarını belirlemişlerdir (Tang vd., 2018). İlaveten AOK tespitinde kullan P17 ve NOx bakterileri haricinde farklı kültürler de kullanılmaktadır. Liu ve arkadaşları klorlanmamış içme suyundaki AOK davranışlarını izlediği araştırmalarında *Escherichia coli* kültürünü ve akış sitometrisini kullanmışlardır (X. Liu vd., 2015).

2.8. Farklı Sularda AOK ile Yapılmış Çalışmalar

AOK üzerine yapılan araştırmalar çoğunlukla içme suyu, yüzeysel sular ve içme suyu dağıtım sistemleri üzerine yoğunlaşmış olsa da AOK arıtım sonrası mikrobiyal aktivitenin devamlılığını gösteren etkili bir parametre olduğundan insani kullanım amacıyla faydalanacak farklı su tiplerinde de kullanılmaktadır (Shi vd., 2021). Günümüzde yaşanan su stresi sürdürülebilir su kullanımı politikalarını gündeme getirerek kaynak suyu ve baraj göllerinin dışında geri kazanılmış sular, yağmur-sel suyu hasadı ve deniz suyunun arıtılması gibi yeni kaynak arayışlarını meydana getirmiştir (Cottrell vd., 2013; Farhat vd., 2022; Mohammed vd., 2021; Ren & Chen, 2021b). Bahsi geçen su kaynaklarının kullanım amacına uygun nitelikli hale getirilmesi için konvansiyonel arıtma yöntemlerine ek olarak membran filtreler, ters osmoz, kum filtresi, granüle aktif karbon ve ileri arıtma prosesleri gibi gelişmiş teknikler de kullanılmaktadır (Gergin & Cuci, 2017). Su arıtımı esnasındaki mikrobiyolojik aktivite filtrelerde tıkanıklık, dağıtım sisteminde biyofilm oluşumu gibi olumsuzluklar meydana getirerek ekonomik kayba sebep olmaktadır (Holloway vd., 2022). Nüfus artışının beraberinde getirdiği su talebini karşılamak için bir alternatif olan yağmur suyu hasadı, deniz suyu arıtımı ve yeniden kullanılabilir suların arıtımı gibi alternatiflere kıyasla daha ekonomik olmasının yanı sıra tropikal bölgelerde oluşan doğal afetler sonucu kirleticilerin sel suyu vasıtasıyla ekosisteme karışmasını önleyicidir (Farhat vd., 2022; G. Liu vd., 2020; Üstün vd., 2020). Yağmur suyunun içme suyu olarak kullanılabilmesi için uygun arıtma yöntemine ek olarak dezenfekte edilmesi gereklidir. Yapılan bir

araştırmada toplanan yağmur suyunun elektro-koagülasyon ve seramik membran biyoreaktör ile arıtımının araştırılmış; biyo-membrandaki biyolojik aktiviteyi takip etmek için EEM metodun ve kültürel yöntem kullanarak AOK tayinini gerçekleştirmişlerdir. Yağmur suyu hasadı ile elde edilen ham suyun 130 günlük ortalama AOK konsantrasyonu 0,15-0,20 µg/l ölçülmüştür (Cottrell vd., 2013).

Diğer bir alternatif kaynak olan deniz suyundaki AOK değerlerinin belirlenmesine yönelik çalışmaların sayısı literatürde artmaktadır (Javier, ve diğerleri, 2020). İçme suyu kaynağı oldukça az olan Suudi Arabistan'da yapılan bir çalışmada deniz suyundan içme suyu elde edilip dağıtım sistemine verilen bir tesiste dağıtım şebekesindeki mikrobiyal stabilitenin durumunu ve kullanılan ters osmoz modüllerinin biyolojik stabiliteye olan katkısını araştırmak için AOK'den yararlanmışlardır. Çalışma sonucunda şebekeye verilen suda 8.3 ± 1.2 µg/L AOK belirlenmiştir (Farhat vd., 2022).

Atıksuların arıtımıyla her gün oldukça yüksek debide arıtılmış su alıcı ortama verilmektedir. 2020 yılında ülkemizde 15,3 milyar m³ suyun alıcı ortama deşarj edildiği tahmin edilmektedir (TÜİK, 2021). Konvansiyonel arıtma prosesleri mikrokirleticileri arıtmaya uygun olmadığından pek çok mikrokirletici alıcı ortama ulaşmaktadır (Bourgin vd., 2018; Loos vd., 2013). Deşarj sonucu alıcı ortama fazladan gelen organik yük nedeniyle mikrobiyal çoğalmanın takibi ve alıcı ortam su kütlesinin akışının izlenmesi, sürdürülebilir su yönetimi için önem arz etmektedir. Son yıllarda geri kazanılmış sular soğutma amaçlı veya proses suyu olarak sanayide kullanılmaktadır. Biyo-bozunur organik maddenin ve bakteriyel yeniden çoğalmanın kontrol edilmediği proses suları sistemde biyolojik korozyon, bulanıklık ve renk problemi gibi içme suyu dağıtım sistemlerinde görülen olumsuzluklara neden olmaktadır (Thayanukul vd., 2013). Geri kazanılmış sular ve atıksularda AOK sınır değerleri henüz tespit edilmemiştir ancak yeniden kullanılabilir sulardaki AOK tespiti ve kullanılan arıtma yöntemlerinin AOK giderim verimliliğinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalarla birlikte literatürde ham atıksuya ait AOK verileri oluşmaya başlamıştır (Teksoy & Kenan, 2022). AOK biyo-analizinin ilk çıkış noktası içme sularında kullanılmasına yöneliktir (van der Kooij vd., 2003; van der Kooij vd., 1982). Bu sebeple oldukça yüksek organik yüke sahip atıksularda tahlilin uygulanmasına yönelik farklı bakteri modifikasyonları

oluşturulmuştur (H. Wang vd., 2014; Zhao vd., 2013; Zimmermann vd., 2011). Atıksularda klasik yöntem AOK tayininde kullanılan P17 ve NOx suşlarına ek olarak *Pseudomonas saponiphila* G3, *Stenotrophomonas sp.* ZJ2 ve *Enterobacter* suşları veya ortamdan izole edilmiş bir doğal suş kullanılabilir (Shi vd., 2021; Zhao vd., 2013).

Evsel bir atıksu arıtma tesisi çıkış suyunu membran biyoreaktör ve farklı arıtma konfigürasyonları ile arıtma faaliyetinde bulunan bir tesiste yıl boyunca AOK ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. *Pseudomonas saponiphila* G3 suşu kullanılarak kültürel yöntemin bir uyarlamasının uygulandığı çalışmada sonuçlar yaz mevsiminde az miktarda değişkenlik göstermiş olsa da yıl boyunca 215-216 µg/L AOK kaydetmişlerdir (Shi vd., 2021). Bir diğer çalışmada ise proses-kullanma suyu elde etmek için arıtılmış evsel nitelikli atıksuyu ham su olarak kullanan bir tesiste proses boyunca mikrobiyolojik izleme yapılmıştır. Ham su olarak nitelendirilen arıtılmış atıksudan elde ettikleri sonuçlar şu şekildedir; 358 µg/L UF giriş 174 µg/L, UF çıkış 213 µg/L, granül aktif karbon filtre 180 µg/L RO çıkışında 0 µg/L (Nocker vd., 2020).

Türkiye’de atıksulardaki AOK tespiti üzerine yapılmış bilinen ilk çalışmada iki endüstriyel atıksu arıtma tesisi ve bir su geri kazanım tesisindeki fiziksel, biyolojik, kimyasal ve ileri arıtma proseslerinin AOK giderimini tespit etmek için yapılmış bir çalışmada yüksek AOK giderimleri tespit edilmiştir. İki endüstriyel tesiste giriş atıksuyu 1629.67 µg/l ve 3610.04 µg/l AOK konsantrasyonu çıkış suyunda yaklaşık % 84 ve % 99 arıtım verimi ile 264 µg/L ve 12 µg/L AOK seviyesine düştüğü gözlemlenmiştir (Teksoy & Kenan, 2022). Ham atıksudaki mikro kirleticilerin tespiti üzerinde yapılmış bir çalışmada biyolojik arıtma çıkışında 90 µg/L AOK tespit edilmiş olup akabinde uygulanan ozonlamanın içme suyunda gösterdiği etkiye benzer olarak AOK’yi arttırdığını tespit etmişlerdir (Bourgin vd., 2018). Çizelge 2.8.1’de dünya çapında farklı AOK tayin yöntemleri kullanılarak çeşitli sularda tespit edilen AOK konsantrasyonlarının özeti verilmiştir.

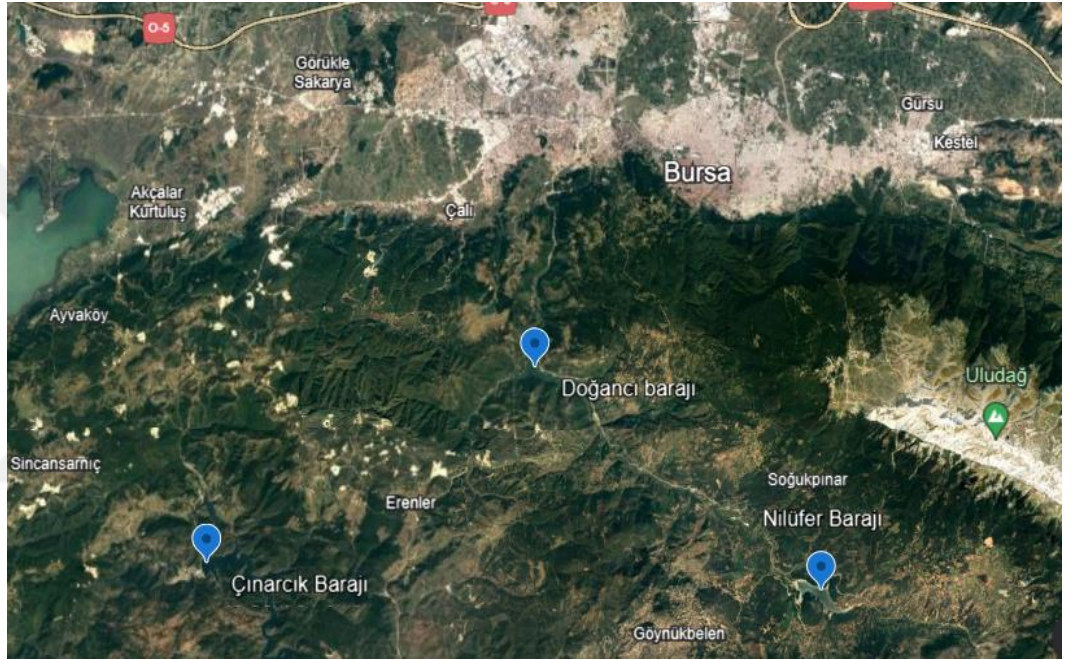
Çizelge 2.8.1 Çeşitli sularda AOK belirlenmesine yönelik yapılmış çalışmalar.

Ülke	Su kaynağı	Tayin yöntemi	Konsantrasyon	Referans
İsviçre	Göl suyu	Akım sitometrisi	45-270 µg/L	(F. Hammes vd., 2006)
İsviçre	Göl suyu	Akım sitometrisi	23-32 µg/L	(F. Hammes vd., 2010)
Norveç	Göl suyu	Kültürel yöntem	45-70 µg/L	(Hem & Efraimsen, 2001a)
Çin	Göl suyu	Kültürel yöntem	72-117 µg/L	(W. T. Chen vd., 2022)
Birleşik Krallık	Göl suyu Nehir suyu Yeraltı suyu	Akım sitometrisi	>300 µg/L <245 µg/L <73 µg/L	(Pick vd., 2021)
Hollanda	Nehir suyu	Uyarlanmış kültürel yöntem	39-75 µg/L	(Sack vd., 2010)
Kanada	Nehir suyu	Akım sitometrisi	200-250 µg/L	(Elhadidy vd., 2016)
Çin	İçme suyu dağıtım sistemi Ham su	Kültürel yöntem	92-482 µg/L 97-293 µg/L	(W. Liu vd., 2002)
Türkiye	İçme suyu dağıtım sistemi	Kültürel yöntem ATP lüminesans	123-137 µg/L 214-222 µg/L	(Taşkin, 2021; Teksoy, 2021)
Avustralya	Deniz suyu	ATP	24,6 µg/L	(Naidu vd., 2013)
Japonya	Geri kazanım suyu	Uyarlanmış kültürel yöntem	36-446 µg/L	(Thayanukul vd., 2013)
Türkiye	Atıksu	Kültürel yöntem	Ham: 1630-3610 µg/L Arıtılmış: 0,58-267 µg/L	(Teksoy & Kenan, 2022)
USA	Atıksu	Biyolüminesans	45-3200 µg/L	(Weinrich vd., 2010)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Çalışma Bölgesi

Yapılan çalışma kapsamında yüzeysel su örnekleri Bursa İlının içme suyu arzını karşılamak için yapılmış ve aktif olarak kullanılmaya devam edilen Doğancı Barajı ve Nilüfer Barajından, ayrıca artan su talebini karşılamak için 2025 yılında devreye alınması planlanan Çınarcık Barajından alınmıştır (BUSKİ Genel Müdürlüğü, 2022).



Şekil 3.1.1 Örnek alma noktalarının uydu görüntüsü

Doğancı Barajı



Şekil 3.1.2 Doğancı Barajı (BUSKİ, 2020)

Doğancı Barajı içme suyu temini ve akış regülasyonu amacıyla Bursa İli Osmangazi İlçesi'nde bulunan Nilüfer Çayı üzerinde yapılmış olup 1985 yılında hizmete alınmıştır. Baraj havzasında koruma alanları mevcut olup 14 adet köy vardır. Toprak ve kaya gövde dolgu tipli baraj sahip olduğu 32.611.001 m³ kullanılabilir hacmi ile yılda 110 hm³ içme suyu temin etmektedir. Mevcut veriler doğrultusunda Bursa İlının içme suyu talebinin büyük bir kısmını karşılamaktadır (Anonim, 2021; BUSKİ Genel Müdürlüğü, 2022).

Nilüfer Barajı



Şekil 3.1.3 Nilüfer Barajı (BUSKİ, 2020)

Nilüfer Barajı 1995 yılında kendi ismini taşıdığı Nilüfer Çayı üzerinde, Doğancı barajının 20 km membağında bulunan, toprak ve kaya gövde dolgu tipinde içme suyu ve akış regülasyonu amacıyla inşaatına başlanmıştır. 33.895.00 m³ net hacmi ile yılda 60 hm³ içme suyunun karşılanması üzerine 2007 yılından itibaren hizmet vermeye devam etmektedir. Havzasında 10 adet köy barındıran Nilüfer Barajı'nın içerdiği yüksek su kalitesi Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından da tescillenmiştir (Anonim, 2020a; BUSKİ Genel Müdürlüğü, 2022)

Çınarcık Barajı



Şekil 3.1.4 Çınarcık Barajı (Anonim, 2022)

Sulama, enerji üretimi ve içme suyu temini için toprak ve kaya gövde dolgu tipinde yapılan Çınarcık Barajı, Bursa ilinde bulunan Orhaneli Çayı'nda bulunmaktadır. Normal su kotunda baraj gölünün hacmi 372,94 hm³ olup yıllık 548 GWh'lık enerji sağlamaktadır. Bursa ilinin içme suyu talebini karşılamak için yılda 145 milyon m³ su vermesi planlanan barajın şebekeye bağlanabilmesi için gerekli projelendirmeler devam etmektedir ve 2025 yılında devreye alınması planlanmaktadır (Anonim, 2020b; BUSKİ Genel Müdürlüğü, 2022).

Örnekleme

Tez çalışması kapsamında Bursa ilindeki üç barajda kimyasal su kalitesi verilerinin sürekliliği ve numune desteğinin sağlanması amacıyla BUSKİ'nin de örnekleme yaptığı toplam 7 istasyon seçilmiştir. Baraj suyundaki AOK miktarının tespiti için Hem ve Efraimsen (2001)'in yapmış oldukları çalışmadaki gibi yüzey suyundan örnek alınmıştır (Hem & Efraimsen, 2001a). Doğancı Barajı üzerinde seçilen noktalar baraj içi, Orhaneli ve Keles koludur. Nilüfer ve Çınarcık Barajlarında ise giriş ve çıkış noktaları örnek alma noktası seçilmiş olup Şekil 3.1.5'te de görüldüğü gibi AOK analizi için yüzeysel su örneklemesinde 1000 mL amber şişeler kullanılmıştır. Baraj suyu klor içermeyeceğinden numune şişelerine sodyum tiyosülfat dozlanmamıştır. Bazı fiziksel ve kimyasal su kalitesi parametreleri akredite bir laboratuvar olan BUSKİ Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesis Laboratuvar'ından temin edilmiştir. .Aylık ortalama sıcaklık, aylık

toplam yağışlı gün sayısı ve aylık ortalama yağış miktarı verileri ise Meteoroloji Genel Müdürlüğü Meteorolojik Veri Bilgi Satış ve Sunum Sistemi (MEVBİS) üzerinden temin edilmiştir. Şekil 3.1.5'te örnekleme için kullanılan ağzı folyo ile sıkıca kapatılmış numune şişeleri gösterilmektedir.



Şekil 3.1.5 AOK tayini için şişelenmiş su örnekleri

3.2. Kültürel Yöntem ile Asimile Edilebilir Organik Karbon (AOK) Belirlenmesi

Cam Malzemelerin Hazırlanması

Olası bir karbon bulaşmasını engellemek için AOK tayininde kullanılacak olan amber şişeler, örnek şişeleri (50 mL) ve mezürler sıcak su ve deterjan ile yıkanmış ardından iki kez yıkama asidinden geçirilmiş ve ultra pure saf su ($0,055\mu\text{S}/\text{cm}$) ile üç kez çalkalanmıştır. Ağzıları alüminyum folyo ile kapatılan örnek şişeleri (50 mL) tüm iz organikleri uzaklaştırma amacıyla kül fırınında 550°C 'de 5,5 saat bekletilmiştir (Şekil 3.2.1). Aynı amaçla kullanılacak olan mezürler ağzıları alüminyum folyo ile kapatılarak 24 saat boyunca 180°C 'de etüvde bekletilmiştir. Örnek şişelerinin kapakları hazırlanan % 10'luk bir sodyum persülfat çözeltisinde 60°C 'de bir saat boyunca kaynatılmış ve ardından ultra pure saf su içerisinde yeteri kadar bekletilmiştir (APHA & AWWA,

1992). Amber şişe kapakları ısıya dayanıklı olmadıkları için alkolle silinmiştir. Tüm malzemeler kullanıma kadar alüminyum folyo ile sarılıp saklanmıştır.



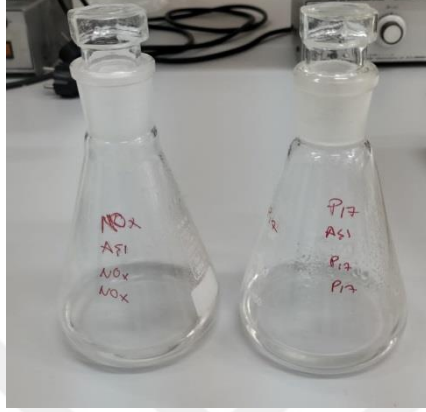
Şekil 3.2.1 Örnek şişlerinin kül fırınında ölçüme hazırlanması

Aşıların Hazırlanması

Yüzeysel su örneklerinde AOK tayinini gerçekleştirmek için Standart Metotlarda (Standart Metot 9217-B.) ve literatürde önerilen, pek çok bileşiği (amino asitler, karbonhidratlar vb.) kullanabilen *Pseudomonas fluorescens* P17 (ATCC 49642) ve P17'nin metabolize edemediği karboksilik asitler ve oksalat üzerinde iyi gelişim göstermesi nedeniyle metoda eklenmiş olan *AquaSpirillum* NOx (ATCC 49643) bakteri aşıları kullanılmıştır (Ross vd., 2013; Standard Methods, 2022).

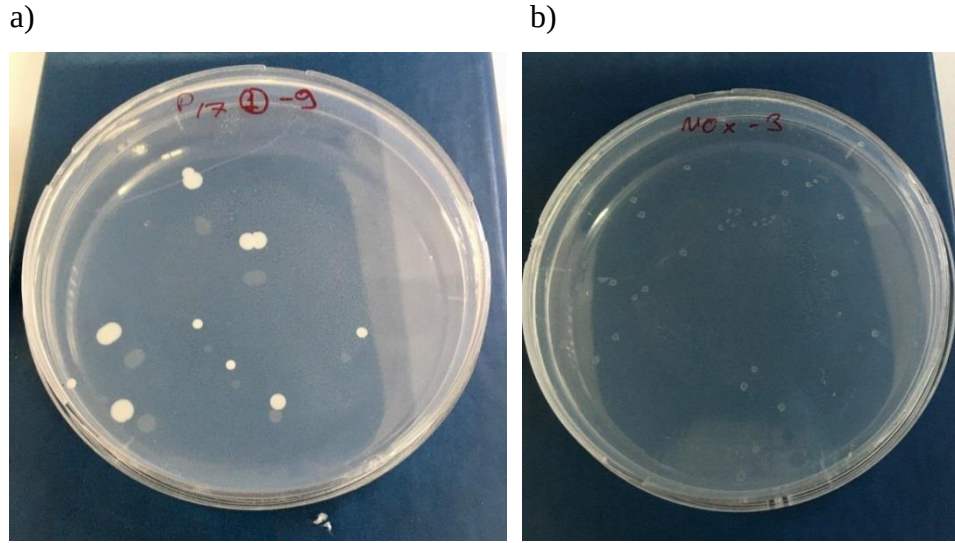
Biyoanalizde kullanılacak olan *Pseudomonas fluorescens* P17 (ATCC 49642) ve *AquaSpirillum* NOx (ATCC 49643) bakteri kültürleri liyofilize halde temin edilmiş olup, otoklavlanmış ve Millipore şırınga filtre kullanılarak filtre edilmiş 2 ml çeşme suyu örneği içerisinde süspanse edilmiştir. Çeşme suyundaki kloru inhibe etmek için yeterli miktarda sodyum tiyosülfat çözeltisi eklenmiştir. Her iki bakteri türü için ayrı aşı hazırlanmıştır. Süspanse edilmiş bakteri kültüründen alınan 100 µl aşı, içerisinde filtre edilip otoklavlanmış 50 ml çeşme suyu bulunan 125 ml'lik erlenlere konulmuştur.

Daha sonra asetat karbonu kaynağı olarak 33,3 µl sodyum asetat (1 mg asetat C/L) çözeltisi eklenmiştir. İki kültürün durgun faza ulaşması için erlenler 25 °C’de orbital karıştırıcılı inkübatörde 9 gün inkübe edilmiştir. Şekil 3.2.2’de AOK tayinine başlamadan önce oda ısısına getirilen P17 ve NOx aşıları gösterilmektedir.



Şekil 3.2.2 Cam tıpalı erlen içinde hazırlanmış NOx ve P17 aşıları.

Bakteri kültürü maksimum sayıya ulaştığında stok aşıdan 7. 8. ve 9. günlerde örnek alınarak yayma plaka yöntemiyle aşının durgun faza ulaşp ulaşmadığı kontrol edilmiştir. Hazırlanan aşı örnekleme süresi boyunca buzdolabında (5 °C) saklanmış olup (Kaplan, Bott, & Reasoner, 1993) her örnekleme dönemi öncesinde yayma plaka yöntemi kullanılarak aşı içerisindeki canlı hücre sayısı belirlenmiştir. Şekil.3.2.3’te iki farklı bakteri türünün koloni morfolojisi verilmiştir. 3-4 mm çapındaki krem-sarı renkli P-17 ve 1-2 mm çapındaki beyaz-şeffaf renkli NOx’ler görülmektedir.



Şekil 3.2.3 Ekim yapıldıktan sonra petrilerde gelişim gösteren bakteri kolonileri. a) P17
b) NOx

Kültürel Yöntem ile AOK Analizi

Örnekleme sonrasında yüzeysel su numuneleri 6 saat içerisinde laboratuvara getirilmiştir. 9 adet 50 ml’lik AOK şişesinin her biri numuneden alınan 40 ml’lik örnek ile doldurulmuştur. Pastörizasyon işlemi hakkında literatürde farklı yaklaşımlar olsa da genel kanı 70 °C’de 30 dakikanın yeterli olduğu yönündedir (Kaplan vd., 1993; Lechevallier vd., 1993; Ross vd., 2013). Ancak yapılan ön denemeler sonucunda bu çalışmada yüzeysel su örnekleri 70 °C’de 1 saat süreyle pastörize edilmiştir. Şekil 3.2.4’te de gösterildiği gibi, pastörizasyon esnasında kontaminasyonu engellemek için su banyosundaki suyun AOK şişesinin boynuna değmeyecek yükseklikte olmasına özen gösterilmiştir.

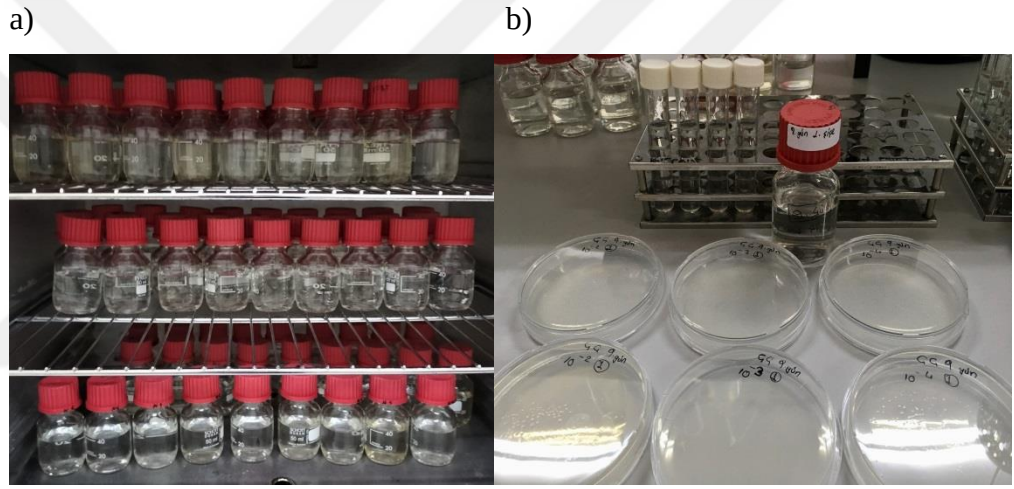


Şekil 3.2.4 AOK şişelerine doldurulan örneklerin pastörizasyonu

Oda sıcaklığına kadar soğutulan şişelere 500 CFU/mL *Pseudomonas fluorescens* P17 ve 500 CFU/mL *AquaSpirillum* NOx konsantrasyonu sağlanacak şekilde aşı eklenmiştir. Aşı hacmi aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\text{Aşı hacmi} = ([500 \text{ CFU/mL} \times 40 \text{ mL/şişe}]/\text{CFU})/\text{mL stok aşı} \quad (\text{APHA \& AWWA, 1992}) \quad (3.1)$$

Aşılana su örnekleri oda sıcaklığında (18-23 °C) karanlıkta 9 gün boyunca karıştırılmadan inkübe edilmiştir.



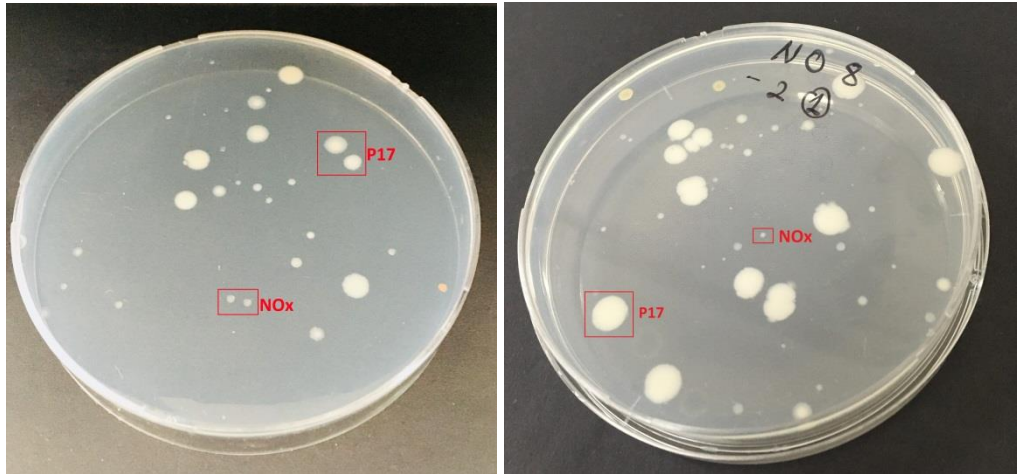
Şekil 3.2.5 a) Oda sıcaklığında inkübatörde çalkalanmadan bekletilen AOK şişeleri b) İnkübatörden çıkartılan bir AOK şişesinin belirlenen seyreltmelerinin yapılması ve örneğin petrilere ekimi.

Bakteriler durgun faza ulaştığında 7. 8. ve 9. günlerde 3'er şişe çıkartılıp yayma plaka yöntemiyle çift paralelli ekim yapılmıştır. Analiz öncesinde ekimin yapılacağı besi yeri petriye döküldükten sonra bir gün oda sıcaklığında kapalı yerde neminin gitmesi için bekletilmiştir. R2A agar üzerine farklı seyreltmelerde (10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4}) ekim yapılan petrilere oda sıcaklığında (18-23 °C) 3-5 gün boyunca inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda besi yeri üzerinde 2-3 gün içerisinde P17 kolonileri gözlemlenmeye başlanır. Akabinde inkübasyonun 5. gününe kadar NOx kolonileri gözlemlenir hale gelmektedir (Kaplan vd., 1993). Yapılan yüksek lisans tezi çalışması kapsamında bakteri kolonilerinin sayımı için gerekli optimum sürenin 5 gün olduğu gözlemlenmiştir.

Yayma plaka yöntemi ile belirlenen 7. 8. ve 9.güne ait bakteri kolonilerinin aritmetik ortalaması alınarak aşağıdaki formül aracılığıyla AOK konsantrasyonları belirlenmiştir. Formülde belirtilen her iki bakteri için gerekli dönüşüm oranları sırasıyla *Pseudomonas fluorescens* P-17 için $4,1 \times 10^6$ CFU P₁₇/µg asetat C ve *Aquaspirillum* NOx için $1,2 \times 10^7$ CFU/µg asetat C kullanılmıştır.

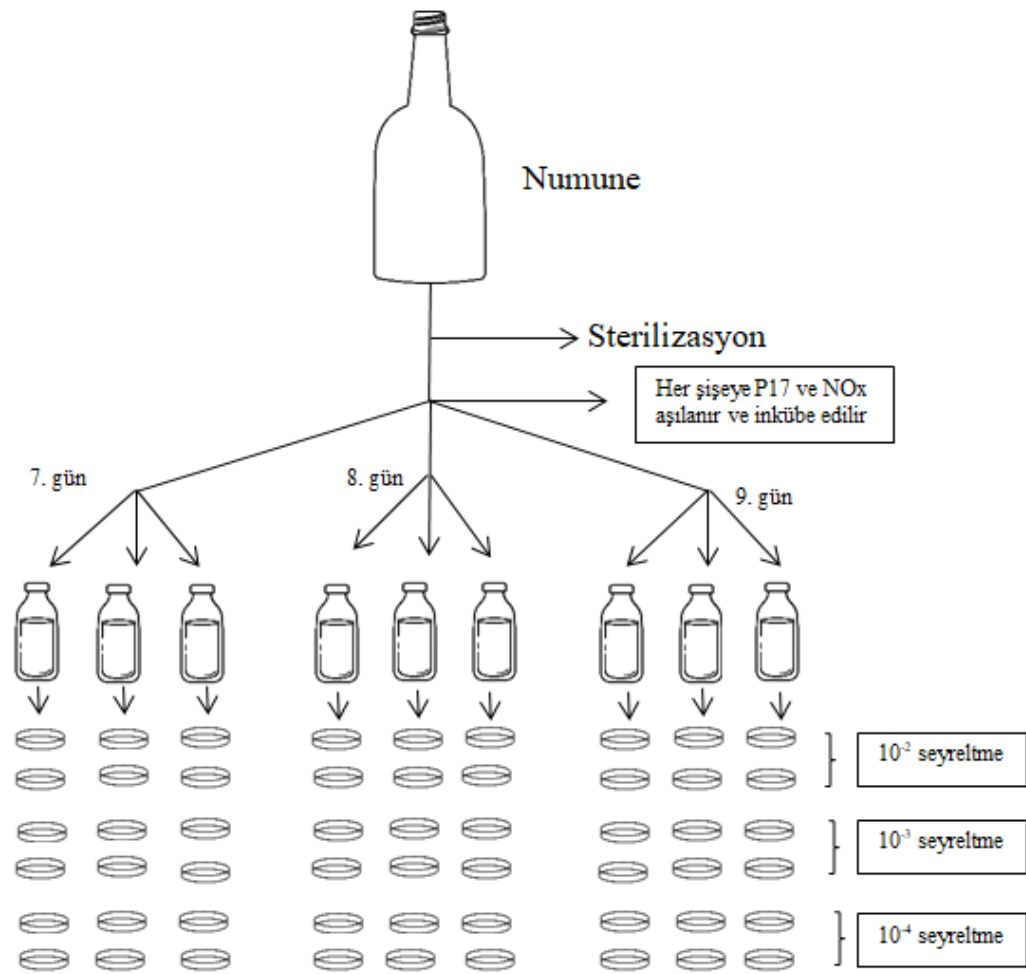
$$\mu g/l AOK = [(ort P - 17 CFU/ml) \times (1/yieldP17) + (ort NOx CFU/ml) \times (1/yieldNOx) \times 1000] \quad (3.2)$$

Şekil 3.2.6’da örnek üzerinde gelişim göstermiş P17 ve NOx kolonileri görülmektedir. Kültürel yöntem ile yapılan AOK tayininde dikkat edilmesi gereken hususlardan birisi aynı örnek şişesine aşılanan iki farklı bakteri kültürüne ait gelişim gösteren kolonilerinin birbiri ile karıştırılmadan hatasız şekilde sayılmasıdır. İki bakteri kolonisinin morfolojik özellikleri birbirinden farklı olsa da gerek koloni renklerinin birbirine yakın oluşu, gerekse ortam şartları nedeniyle az gelişim görülmesi koloni morfolojilerini birbirlerine benzer hale getirmektedir. Ek olarak aşılama yapılan ortamın sterilizasyon koşulları ve inkübasyon süreci koloni sayımını etkileyecek çeşitli kontaminasyonlar yaratabilmektedir.



Şekil 3.2.6 Örnek üzerinde gelişim gösteren P17 ve NOx kolonileri.

Bir diğ er önemli husus ise örnekleme yapılmadan önce ve örnekleme yapıldıktan sonraki ön hazırlık aşamasıdır. Numune setinin büyüklüğüne ve kullanılacak olan seyreltme sayısına göre doğru planlama yapmak malzeme ve zaman tasarrufu sağlar.  n hazırlık aşamasında gerekli malzemelerin temini ve kullanıma hazır hale getirilmelerinin yanı sıra petri sayımında yapılacak hataları en aza indirmek ve zaman-malzeme kaybını önlemek için kullanılacak olan seyreltmelerin belirlenmesi oldukça önemlidir. Şekil 3.7.2’de yapılan tez çalışmasında, alınan bir örnek için deney setinin hazırlanışı şematize edilmiştir.



Şekil 3.2.7 Kültürel yöntem ile gerçekleştirilen AOK analizinde izlenen adımlarının şematik gösterimi.

Kimyasalların Hazırlanışı

Kimyasalların hazırlanışında Standart Metotlar takip edilmiştir ve kimyasalların üzerindeki talimatlar uygulanmıştır (APHA & AWWA, 1992; Şengül Füsün & Türkman Ayşen, 1998).

Sodyum asetat stok çözeltisi: (400 mg asetat-C/L):2.267g $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 1L organik karbon içermeyen deiyonize su ile ölçülür. Çözelti 45 ml'lik şişelere konur. Kapakları sıkıca kapatıldıktan sonra otoklavda sterilize edilir.

Sodyum tiyosülfat çözeltisi: 13.2 mg $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 1L saf suda çözülür. Çözelti kullanılmadan önce otoklavlanmalıdır.

Yıkama asiti: 5 g potasyum kromat seramik havanda çok az saf su ile ezildi. Üzerine az miktarda H_2SO_4 eklenip dikkatlice karıştırıldı. Havanın dibindeki çökelti tamamen çözününceye kadar bu işleme devam edildi ve yaklaşık 1 L asit elde edildi (Şengül Füsün & Türkman Ayşen, 1998).

Fosfat tamponu: 5 mL $\text{Mg} \cdot \text{Cl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ve 1,25 mL stok fosfat tamponu alınıp balon jojeye aktarılır. Ardından saf su ile litreye tamamlanır.

Ringer: 1 adet ringer tableti üzerine 500 mL saf su eklenerek manyetik karıştırıcıda tablet çözülene kadar karıştırılır. Hazırlanan ringer çözeltisi otoklavlandıktan sonra kullanılmalıdır.

Besi yeri (R2A): Besi yerinin donmadan efektif kullanılması için küçük şişeler kullanılmıştır. Darası alınmış 100 mL'lik otoklav şişelerinde 1,82 g kuru madde tartılıp üzerine 100 mL saf su eklenerek kuvvetlice çalkalanmıştır. Ardından hazırlanan besi yeri otoklavlanmıştır.

3.3. İstatistiksel Analiz

Asimile edilebilir organik karbon konsantrasyonları $\mu\text{g/L}$ olarak ölçülmüştür. Toplam organik karbon ölçümleri ise yapılan tez çalışması ile paralel şekilde numune takibi yapan BUSKİ Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesisi laboratuvarından temin edilmiştir.

Bu tez çalışmasında verilerin istatistiksel değerlendirmesi IBM SPSS v16 istatistiksel paket programı aracılığı ile değerlendirilmiştir. Tez çalışmasında kullanılan tüm grafikler Microsoft Office Excel Professional Plus 2016 programı kullanılarak oluşturulmuştur.

İstatistiksel analizler yapılmadan önce verilerin normalliği varsayımı % 95 güven aralığı çerçevesinde Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk normallik testleri ile yapılmıştır. Test sonucuna göre parametrik ya da parametrik olmayan testler % 95 güven aralığı seviyesi olacak şekilde kullanılmıştır.

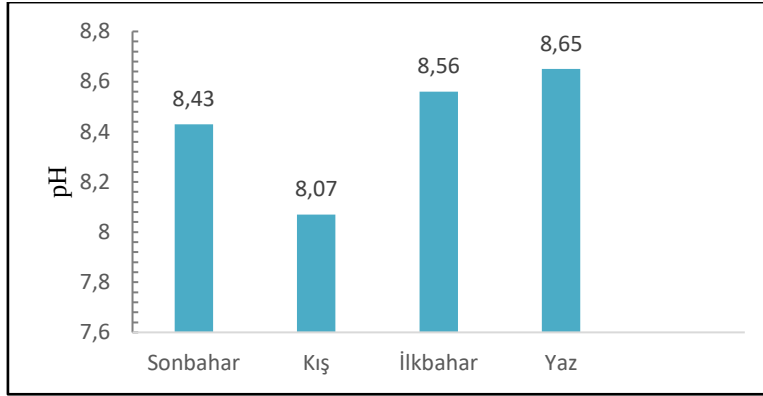
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Baraj Suyu Örneklerinin Su Kalitesi Özellikleri

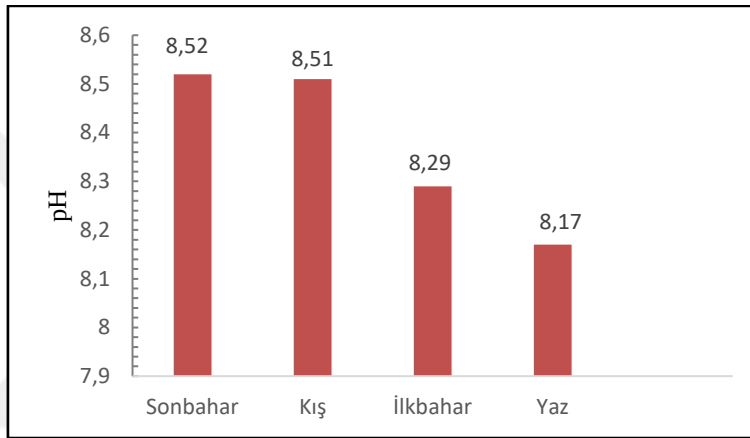
Bursa İli Doğancı barajı, Çınarcık barajı ve Nilüfer barajında fiziko-kimyasal su kalitesi parametreleri için BUSKİ'ye ait örnekleme noktalarından Ekim 2021-Mayıs 2022 tarihleri arasında 8 örnekleme yapılmıştır. Su kalitesine ait parametrelerin analizleri BUSKİ Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesisi Laboratuvarı'nda toplam organik karbon, bulanıklık, iletkenlik ve pH ölçümleri yapılmıştır. Su kalitesi analizleri AOK verileri ile uyumlu olması için mevsimsel ortalama değerleri alınmış olup tez çalışmasında bu ortalama değerler kullanılmıştır.

Barajlardaki pH ölçümlerinin mevsimsel dağılımı Şekil 4.1.1'de gösterilmiştir. Doğancı Barajındaki örnekleme noktalarından sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsiminde ölçülen mevsimsel ortalama pH değerleri sırası ile 8.43, 8.07, 8.56 ve 8.65 olup örnekleme dönemi boyunca pH parametresinin ortalama değeri 8.42'dir. Çınarcık Barajında sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsiminde ölçülen ortalama pH değerleri sırası ile 8.52, 8.51, 8.29 ve 8.17 olup örnekleme dönemi ortalama değeri 8.37'dir. Nilüfer Barajında sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsiminde ölçülen ortalama pH değerleri sırası ile 8.24, 8.14, 7.9 ve 8.24 olup örnekleme dönemi ortalama değeri 8.13'tür.

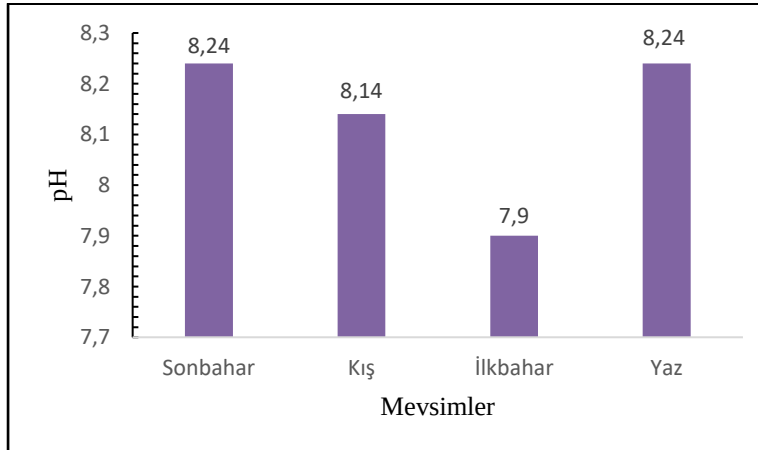
a)



b)



c)



Şekil 4.1.1 Barajlardaki örnekleme noktalarından alınan örneklerin anlık ölçülen ortalama pH değerlerinin mevsimsel değişimi. a) Doğancı barajı, b) Çınarcık barajı, c) Nilüfer barajı

Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarında ölçülen pH değerlerinin 7,9-8,65 arasında değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Ölçüm değerleri arasındaki bu farklılığın istatistiksel olarak değerlendirilebilmesi için verilere normallik testi uygulanmıştır. Kolmogorov-Smirnov normallik testine göre (n=12) veriler % 95 güven aralığında normal dağılım göstermiştir (p-value = 0,2 > 0,05). Normallik varsayımını sağlayan pH verilerinin mevsimsel olarak değişkenlik gösterip göstermediği ise Tek Yönlü ANOVA testi ile test edilmiş olup pH parametresindeki mevsimsel değişkenlik istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (p-value = 0,837 > 0,05). Şekil 4.1.2’de pH parametresine ait SPSS çıktıları verilmiştir.

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
pH	,145	12	,200 [*]	,965	12	,851
Mevsim	,166	12	,200 [*]	,876	12	,078

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

ANOVA					
pH					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,054	3	,018	,282	,837
Within Groups	,507	8	,063		
Total	,561	11			

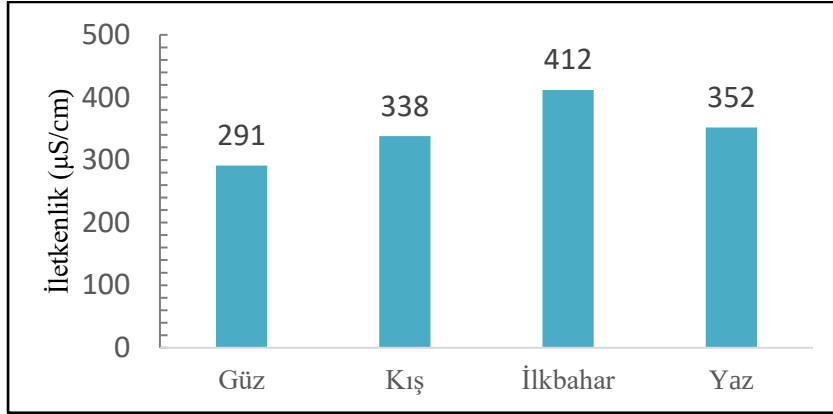
Şekil 4.1.2 Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarından elde edilen pH verilerinin istatistiksel analizi sonucu SPSS çıktıları.

Yüzeysel sulardaki pH’ı etkileyen unsurların başında karbondioksit (CO₂) gazının sıcaklığa bağlı olarak sudaki çözünürlüğünün değişmesi sonucunda suda oluşan karbonik asitler ve asit yağmurları gelmektedir. Ayrıca su içerisinde gerçekleşen aerobik faaliyetler sonucu oluşan CO₂ gazı su içinde göz ardı edilebilir pH değişimlerine neden olabilmektedir (Chittoor Viswanathan vd., 2015; Mustafa, 2020).

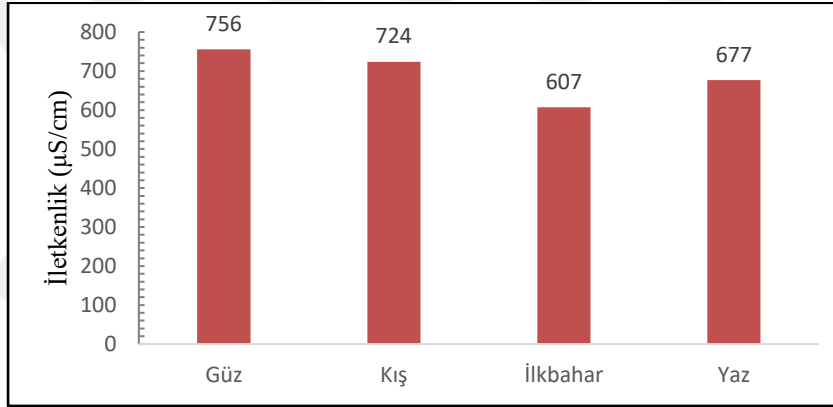
Her üç barajda ölçülen pH değerleri İçme Suyu Elde Edilen veya Elde Edilmesi Planlanan Yüzeysel Suların Kalitesine Dair Yönetmelikte (İçme Suyu Elde Edilen veya Elde Edilmesi Planlanan Yüzeysel Suların Kalitesine Dair Yönetmelik, 2012) belirtilen 6,5-9,5 değer aralığındadır.

Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarında ölçülen iletkenlik değerleri Şekil 4.1.2’de verilmiştir. Mevsimsel olarak değişiklik gösteren iletkenliğin Çınarcık barajında Doğancı ve Nilüfer’e kıyasla yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsiminde Doğancı barajındaki ortalama iletkenlik ($\mu\text{S/cm}$) değerleri sırasıyla 291, 338, 412 ve 352 $\mu\text{S/cm}$ tespit edilmiş olup çalışma süresince ortalama değer 348,25 $\mu\text{S/cm}$ ’dir. En düşük ölçüm olan 291 $\mu\text{S/cm}$ sonbaharda, en yüksek ölçüm ise 412 $\mu\text{S/cm}$ ilkbaharda gözlemlenmiştir. Çınarcık barajında ölçülen ortalama iletkenlik değerleri sırası ile 756, 724, 607 ve 677 $\mu\text{S/cm}$ olup çalışma süresince ortalama değer 691.25 $\mu\text{S/cm}$ ’dir. Çınarcık barajında en yüksek ortalama 756 $\mu\text{S/cm}$ ile sonbaharda ve en düşük ortalama 607 $\mu\text{S/cm}$ ile ilkbaharda gözlemlenmiştir. Nilüfer barajındaki ortalama iletkenlik değerleri sırasıyla 278, 371, 269 ve 278 $\mu\text{S/cm}$ olup çalışma süresince ortalama değer 299 $\mu\text{S/cm}$ ’dir. En düşük ölçüm değeri 269 $\mu\text{S/cm}$ sonbaharda kaydedilmiş olup en yüksek ölçüm değeri 371 $\mu\text{S/cm}$ ilkbaharda kaydedilmiştir. İzlenen üç barajda da iletkenlik parametresinin ekstrem değerleri bahar aylarında kaydedilmiştir. Ek olarak Çınarcık barajı hariç en düşük iletkenlik değeri sonbaharda, en yüksek iletkenlik değeri ise ilkbaharda ölçülmüştür. Doğal sulardaki iletkenlik değeri suyun içindeki çözünmüş madde miktarına ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir (Özdemir D. & Yılmaz F., 2007). Bu durumda baraj gölünün bulunduğu bölgenin kayaç ve jeolojik özellikleri önem kazanmaktadır (Özdemir D. & Yılmaz F., 2007). Bu bağlamda bulgular incelendiğinde bahar aylarındaki keskin sıcaklık değişimleri ve yağış rejiminin hızlanmasının iletkenlik parametresi üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir.

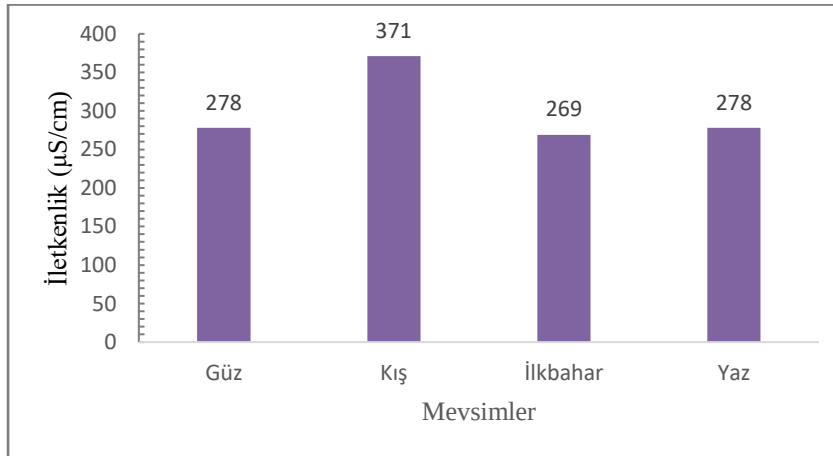
a)



b)

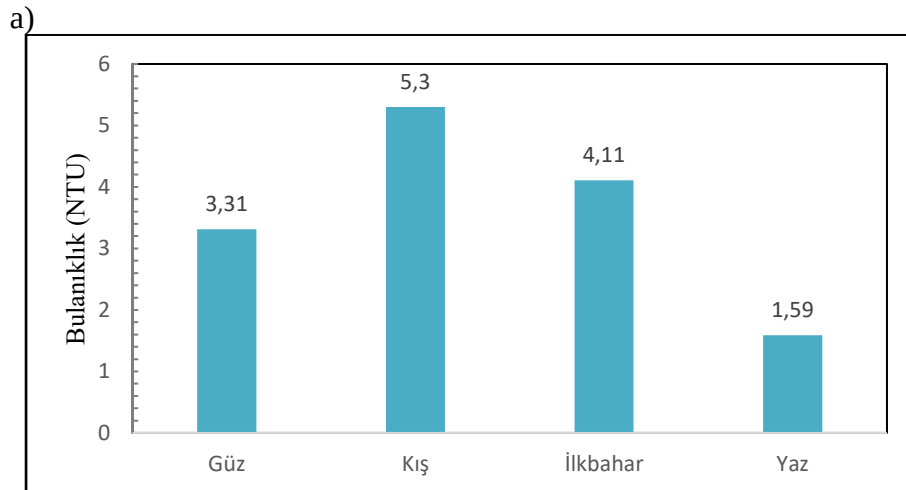


c)

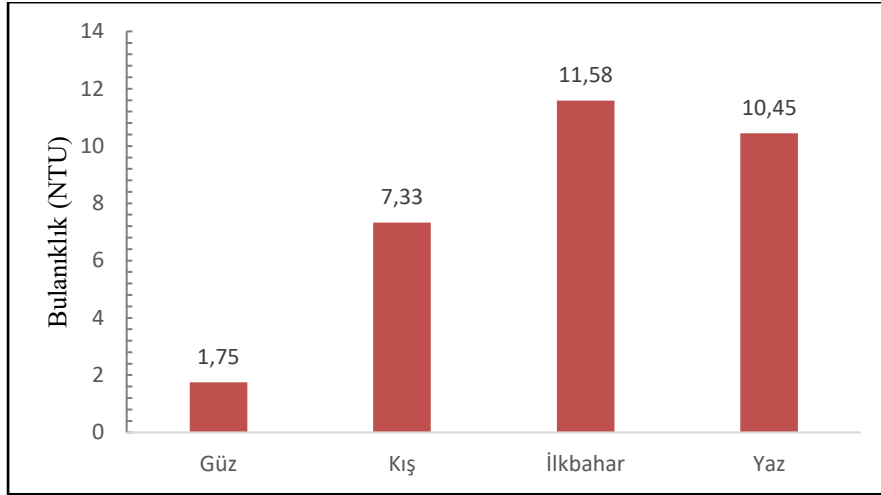


Şekil 4.1.3 Barajlardaki örnekleme noktalarından alınan örneklerin anlık ölçülen ortalama iletkenlik değerlerinin mevsimsel değişimi. a) Doğancı barajı, b) Çınarcık barajı, c) Nilüfer barajı

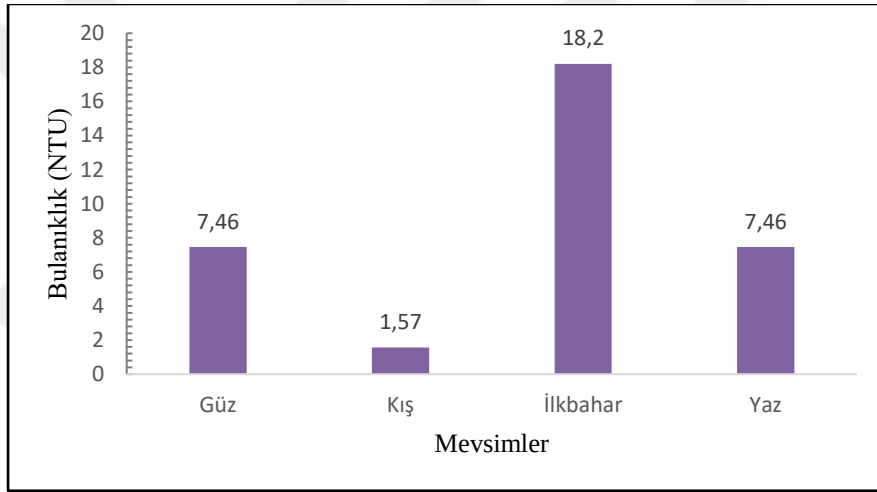
Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarında ölçülen bulanıklık değerleri NTU cinsinden Şekil 4.1.3.'te verilmiştir. Doğancı Barajında sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz için kaydedilen değerler sırasıyla 3.31, 5.3, 4.11 ve 1.59 NTU olup çalışma süresince ortalama bulanıklık değeri 3.57 NTU'dur. Doğancı barajı diğer iki baraja kıyasla en düşük bulanıklık değerlerinin kaydedildiği örnekleme noktası olmuştur. Çınarcık barajında gözlemlenen bulanıklık değerleri sırası ile 1.75, 7.33, 11.58 ve 10.4 NTU olup çalışma süresince ortalama bulanıklık değeri 7.76 NTU'dur. En düşük bulanıklık değeri 1,75 NTU kış mevsiminde kaydedilmiş olup en yüksek bulanıklık değeri 11,58 NTU ilkbaharda kaydedilmiştir. Nilüfer barajındaki ölçüm sonuçları sırasıyla 7,46, 1,57, 18,2 ve 7,46 NTU olup çalışma süresince ortalama bulanıklık değeri 8.67 NTU ölçülmüştür. Her üç barajda gözlemlenen bulanıklık değerleri standartlarda belirtilen 1-500 NTU değer aralığına uygun olduğu tespit edilmiştir. Sulardaki organik ve inorganik madde miktarındaki değişim, yağış rejimindeki değişimler, yüzeysel akışın artması, kar suları gibi su miktarını etkileyen faktörler ve mikrobiyal aktivitenin artması bulanıklık üzerinde etkili olan parametrelerdir. Doğancı barajı hariç kış mevsimindeki yağışların bulanıklık seviyesini arttırdığı gözlemlenmiş olup, ilkbaharda karların erimesiyle birlikte bulanıklık miktarının arttığı gözlemlenmiştir.



b)



c)



Şekil 4.1.4 Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajındaki örnekleme noktalarından alınan örneklerin türbidimetrik yöntem ile ölçülen ortalama bulanıklık değerlerinin mevsimsel değişimi. a) Doğancı barajı, b) Çınarcık barajı, c) Nilüfer barajı

Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarında Eylül 2021- Mayıs 2022 tarihleri arasında ölçülen amonyum azotu miktarı (n=8) yönetmelikte verilen sınır değerin (5 mg/L) çok altında $< 0,018$ mg/L tespit edilmiştir.

4.2. Meteorolojik Veriler

Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarındaki seçilen istasyonlarda örnekleme süreci boyunca meteorolojik parametrelerin takibi için Meteoroloji Genel Müdürlüğünden

Bursa/17116, Nilüfer/18386 ve Orhaneli18083 istasyonlarına ait veriler talep edilmiştir. Bursa ilinde Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları yılın en sıcak zamanları iken Şubat ve Mart ayları yılın en düşük sıcaklıklarının gözlemlendiği dönemlerdir. Bununla birlikte Bursa ilinin kuzey bölgelerinde ılıman iklim şartları gözlemlenirken güney ve iç bölgelerinde karasal iklim şartları da gözlemlenmektedir (Özgün vd., 2020).

Yapılan tez çalışmasında yağışların seyrelmeye ve kirletici parametre konsantrasyonlarına olan etkisinin (Kâtip & Karaer, 2011; Yenilmez vd., 2010) göz önünde tutulması için Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarının AOK örnekleme dönemi boyunca aylık yağışlı gün sayısı Çizelge 4.2.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.2.1 Örnekleme yapılan aylarda toplam yağışlı gün sayısı

Aylar/Gün	Bursa	Nilüfer	Orhaneli
Sonbahar (Kasım)	11	10	11
Kış (Ocak)	21	17	10
İlkbahar (Nisan)	7	8	6
Yaz (Mayıs)	6	3	3

Kasım 2021- Mayıs 2022 dönemi boyunca Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarına en yakın meteorolojik istasyonlardan alınan aylık ortalama yağış miktarı verileri Çizelge 4.2.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2.2 Aylık ortalama yağış miktarı

Aylar / mm	Bursa	Nilüfer	Orhaneli
Sonbahar (Kasım)	33,50	44,9	63,1
Kış (Ocak)	54,10	69,2	31,1
İlkbahar (Nisan)	33,8	27,7	30,8
Yaz (Mayıs)	26,4	16,4	15,4

Mikrobiyal aktivitenin örnek alma dönemindeki sıcaklık değişimi nedeniyle artış veya azalış göstermesi tahmin edilmekte olup, bu durumun bakteriler tarafından AOK veya TOK kullanımını etkileyeceği düşünülmektedir (Elmaci vd., 2008). Bu bağlamda

Kasım 2021- Mayıs 2022 dönemi boyunca aylık ortalama sıcaklık değerleri Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajları için Çizelge 4.2.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2.3 Aylık ortalama sıcaklık değerleri

Aylar / °C	Bursa	Nilüfer	Orhaneli
Sonbahar (Kasım)	12,7	12,6	11,00
Kış (Ocak)	4,6	4,6	2,4
İlkbahar (Nisan)	14,8	14	12,8
Yaz (Mayıs)	18,7	17,8	16,5

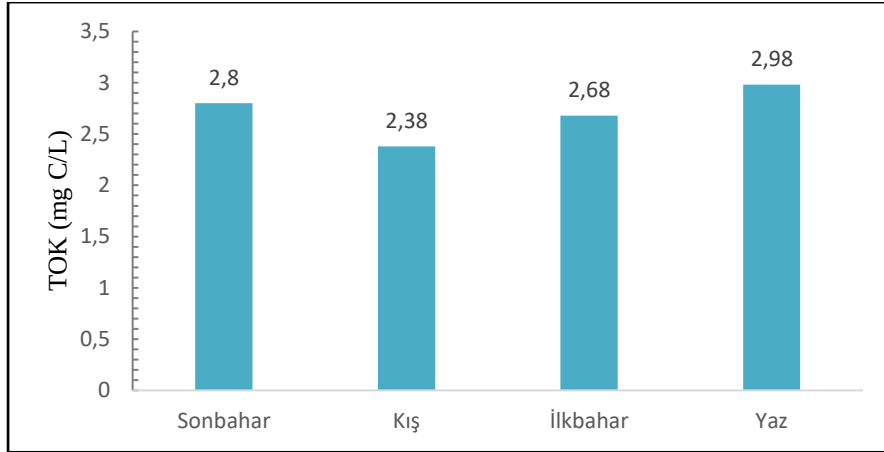
4.3.Baraj Suyu Örneklerinde Toplam Organik Karbon (TOK) Miktarı

Şekil 4.1.4’te çalışma döneminde Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarından alınan örneklerdeki toplam organik karbon (TOK) konsantrasyonunun mg C/ L cinsinden mevsimsel değişimi gösterilmektedir. Doğancı barajında sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde ölçülen ortalama TOK değerleri sırası ile 2.8, 2.38, 2.68 ve 2,98 mg C/ L olup örnekleme süresi boyunca ortalama değer 2,71 mg C/L’dir. En yüksek ortalama konsantrasyon yaz mevsiminde ölçülmüş iken en düşük ortalama TOK miktarı sonbahar mevsiminde kaydedilmiştir.

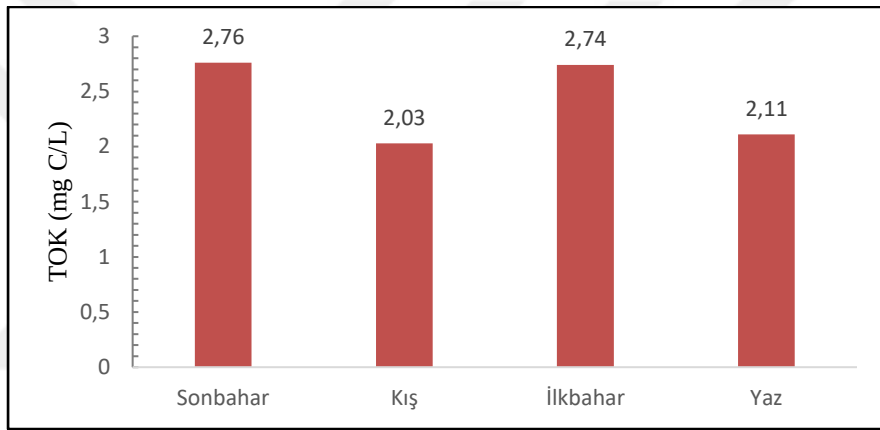
Çınarcık barajında ölçülen ortalama TOK değerleri sırası ile 2.76, 2.03, 2.74 ve 2.11 mg C/ L olup örnekleme süresi boyunca ortalama değer 2,41 mg C/L’dir. Çınarcık barajında en düşük ortalama değer kış mevsiminde kaydedilmiş olup en yüksek ortalama konsantrasyon sonbaharda kaydedilmiştir.

Nilüfer barajında ölçülen ortalama TOK değerleri sırası ile 2.58, 1.28, 2.75 ve 2.58 mg C / L olup örnekleme süresi boyunca ortalama değer 2,29 mg C/L’dir. Nilüfer barajında ölçülen en düşük ve en yüksek konsantrasyonlar sırası ile kış mevsimi ve yaz mevsiminde ölçülmüştür.

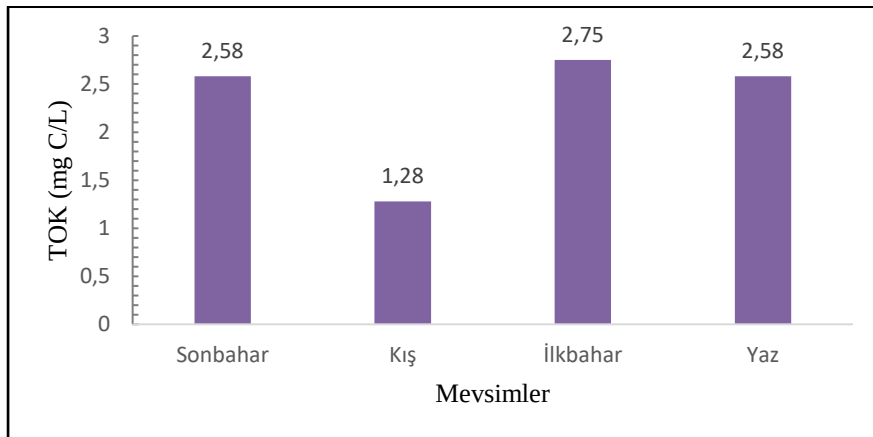
a)



b)



c)



Şekil 4.3.1. Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajındaki örnekleme noktalarından alınan örneklerdeki TOK miktarının mevsimsel değişimi. a) Doğancı barajı, b) Çınarcık barajı, c) Nilüfer barajı

TOK, sulardaki karbonlu bileşiklerinin bütünü temsil ettiğinden mikrobiyal aktivitenin devamı için nütrient sağlar ve bu durum özellikle içme suyu dağıtım

sistemlerinde heterotrofik bakterilerin çoğalmasını desteklemektedir (Lechevallier vd., 1991; van der Kooij, 1992). Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarında ölçülen TOK değerleri yönetmelikte verilen 10 mg C/L sınır değerinin altındadır. Yüzeysel sulardaki TOK parametresi ortamdaki hümik madde, ölü canlı ve bitkilerden kaynaklı organik yapılar, çevresel kirlilik ve yağış rejimi gibi pek çok faktöre bağlıdır (Kortelainen Water, 1993). Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde Terry ve Summers (2018)'nin yapmış oldukları kapsamlı bir derleme çalışmasında yüzeysel sularda TOK değerini 0,5-16,3 mg C/L arasında değiştiğini (n=89) ortalamanın ise 3,5 mg C/L olduğunu bulmuşlardır. Yüzeysel sulardaki karbon fraksiyonları önemli ölçüde bölgenin özelliklerine bağlı olarak değişim gösterse de bulgular bu çalışma ile uyumludur (Terry & Summers, 2018).

4.4.Baraj Suyu Örneklerinde Belirlenen Asimile Edilebilir Organik Karbon (AOK) Miktarları

Doğancı Barajı

Doğancı barajındaki mevsimsel ortalama AOK miktarının belirlenmesi için Şekil 4.4.1'de gösterilen baraj içi, Orhaneli ve Keles kolu üzerinden numune alınmıştır. Üç örnekleme noktasından elde edilen veriler doğrultusunda Doğancı barajının ortalama AOK miktarı 31,17 µg C/L hesaplanmıştır (n=12). Baraj içi örnekleme noktasından Kasım 2021- Mayıs 2022 tarihleri arasında elde edilen AOK verileri sırası ile 38.2, 11.27, 11.97, 101.45 µg C/ L'dir. Baraj içi örnekleme noktasından elde edilen ortalama AOK miktarı 40,72 µg C/L hesaplanmıştır (n=4).



Şekil 4.4.1 Doğancı barajında örnek alma bölgeleri

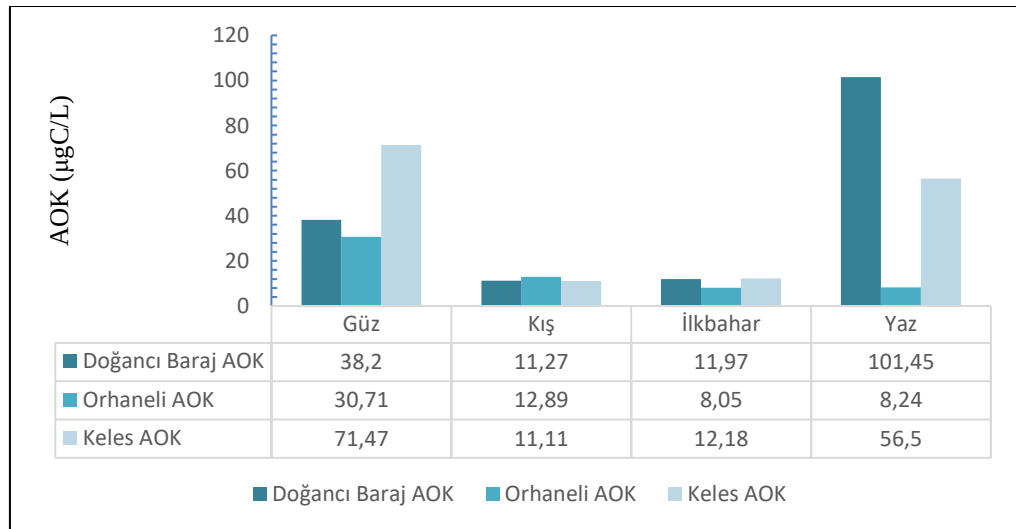
Kış ve ilkbahar dönemlerine ait AOK konsantrasyonlarının birbirine yakın olduğu dikkat çekmektedir. Bu durumun numune alındığı tarihlerde uzun süreli yoğun yağışların gerçekleşmiş olmasından ve ilkbaharda karların erimesiyle oluşan kar sularının su kütlesinin seyrelmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yaz aylarında sıcaklık artışı ile birlikte mikrobiyal aktivitenin artması sonucunda içme suyu dağıtım sistemlerinde AOK'nin azaldığı görülmektedir (Ohkouchi vd., 2011). Ancak yüzeysel sularda yaz mevsiminde AOK miktarının arttığını gösteren çalışmalar mevcuttur (Choi vd., 2019; Polanska vd., 2005). Yüzeysel sularda gözlemlenen bu durum temelde suların organik madde içeriğine bağlı olup, organik maddenin AOK miktarını arttıracak şekilde oksidasyona uğraması, yaz mevsimi ile kuvvetlenen UV ışınlarının etkisi, alg çoğalması ve su kütlesindeki buharlaşmadan meydana geldiği düşünülmektedir (Z. Chen vd., 2018; Choi vd., 2019a; Polanska, Huysman, & Van Keer, 2005).

Orhaneli kolunda sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsiminde ölçülen ortalama AOK değerleri sırası ile 30.71, 12.89, 8.05 ve 8.24 $\mu\text{g C/ L}$ 'dir. Örnekleme periyodu süresince ortalama AOK konsantrasyonu 14,97 $\mu\text{g C/ L}$ olarak hesaplanmıştır (n=4) (Şekil 4.3.1.a). En düşük AOK konsantrasyonu 8,05 $\mu\text{g C/ L}$ olarak ilkbaharda ölçülmüş olup en yüksek AOK konsantrasyonu sonbaharda 30,71 $\mu\text{gC/ L}$ olarak belirlenmiştir. Keles kolundan elde edilen veriler sırası ile 71,47, 11,11 12,18 ve 56,5 $\mu\text{g C/ L}$ 'dir.

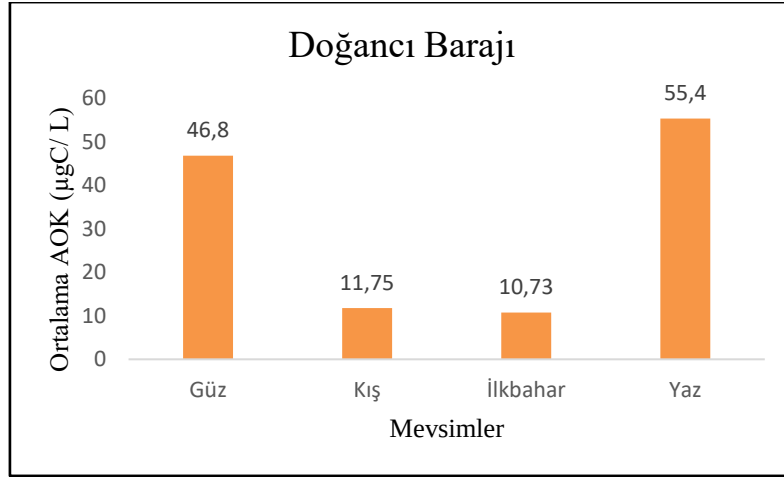
Örnekleme periyodu boyunca ortalama AOK değeri ise 37,81 $\mu\text{g C/ L}$ hesaplanmıştır (n=4). Doğancı barajındaki üç farklı örnekleme noktasından elde edilen verilerden sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimleri için hesaplanan AOK konsantrasyonları sırası ile 46,8 11,75 10,73 ve 55,4 $\mu\text{g C/ L}$ 'dir (Şekil 4.4.2.b).

Doğancı barajı genelinde AOK miktarının ilkbahar ve kış mevsimlerinde azaldığı, yaz mevsiminde ve sıcaklıkların nispeten yüksek olduğu sonbaharda ise arttığı gözlemlenmiştir. Orhaneli kolunda sonbahar mevsiminde ölçülen değerlerin, Keles kolu ve baraj içi örnekleme noktalarından elde edilen AOK verilerinin aksine yaz mevsiminde daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Aynı baraj gölünün farklı kollarında gözlemlenen bu farklılığın AOK'yi oluşturan organik maddenin molekül ağırlığının geniş bir yelpazede dağılmış olabileceği ve bu nedenle testte kullanılan mikroorganizmalar tarafından tüketilemediği, dolayısı ile de AOK'nin belirlenmesinde kullanılan bu bakterilerin çoğalamamış olabileceği ihtimaller arasındadır (Hem & Efraimsen, 1999).

a)



b)



Şekil 4.4.2 a) Baraj içindeki AOK dağılımı b) AOK verilerinin mevsimsel ortalaması

Bölüm 2.6’da da değinildiği gibi yüzeysel sular içme sularına nazaran daha az miktarda AOK içermektedir. Nitekim Taşkın (2021) yapmış olduğu çalışmada BUSKİ Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesisi giriş yapısında ortalama AOK konsantrasyonunu 288 µg C/ L (n=6) olarak tespit etmiş olup, arıtma sonrasında AOK’nin % 57 oranında giderildiğini (ortalama çıkış suyu konsantrasyonu 147 µg C/ L) ancak dağıtım sistemine verilmeden önce uygulanan dezenfeksiyon işleminden sonra AOK’nin % 22 oranında arttığını bildirmiştir (Taşkın, 2021). Bu noktada yüzeysel suların daha düşük miktarda AOK içerdiği görülmekte olup, ishale aşaması ve suyun depolama sürecindeki dezenfeksiyon uygulamalarının dağıtım sistemindeki AOK’yi arttırdığı düşünülmektedir.

Çınarcık Barajı

Çınarcık Barajındaki AOK konsantrasyonunun belirlenmesi için Şekil 4.4.3’te gösterilen baraj girişi ve çıkışından örnekleme yapılmıştır. Baraj girişi örnekleme noktasından elde edilen veriler sırası ile 28,41 6,22 14,16 ve 14,09 µg C/L olup örnekleme periyodu süresince hesaplanan ortalama AOK değeri 15.72 µg C/L’dir (n=4).



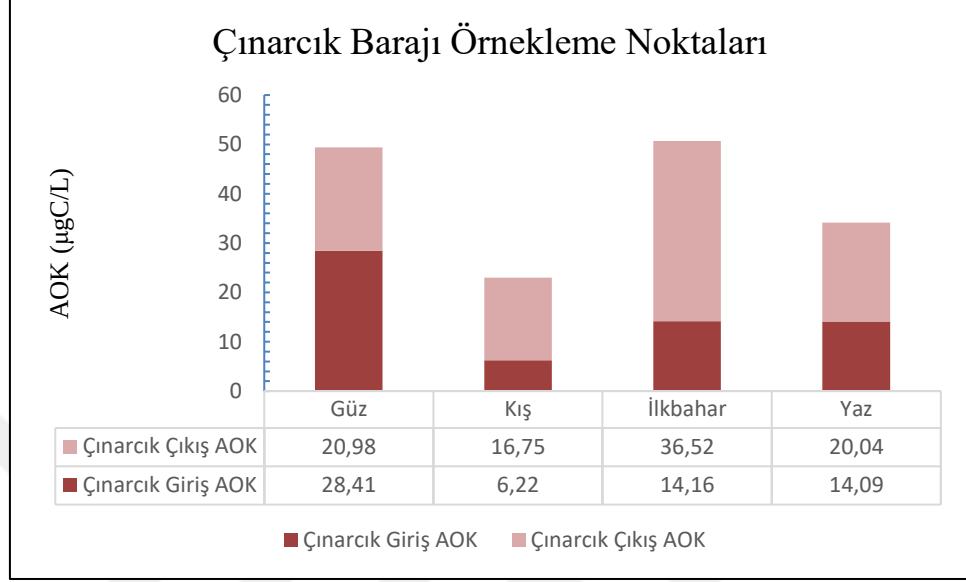
Şekil 4.4.3 Çınarcık Barajı örnek alma bölgeleri

En düşük konsantrasyon Ocak ayında $6,22 \mu\text{g C/L}$ olarak en yüksek konsantrasyon Ekim ayında $28,41 \mu\text{g C/L}$ olarak ölçülmüştür (Şekil 4.4.4.a). Kasım 2021- Mayıs 2022 örnekleme periyodunda baraj çıkışından elde edilen veriler sırası ile 20,98 16,75 36,52 ve 20,04 $\mu\text{g C/ L}$ 'dir. Çınarcık baraj çıkışı örnekleme noktasından edinilen bulgulara göre yıllık AOK ortalaması $23,57 \mu\text{g C/L}$ hesaplanmıştır. İlaveten en düşük konsantrasyon Ocak ayında $16,75 \mu\text{g C/ L}$ olup en yüksek konsantrasyon Nisan ayında $36,52 \mu\text{g C/ L}$ 'dir (Şekil 4.3.2 a). Çınarcık barajındaki iki örnekleme noktasından elde edilen bulgulara göre barajdaki sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerine ait ortalama AOK değerleri sırası ile 24,7 11,48 25,34 ve 17,06 $\mu\text{g C/ L}$ olup mevsimsel ortalama AOK değeri $19,46 \mu\text{g C/ L}$ hesaplanmıştır (n=8) (Şekil 4.4.4. b).

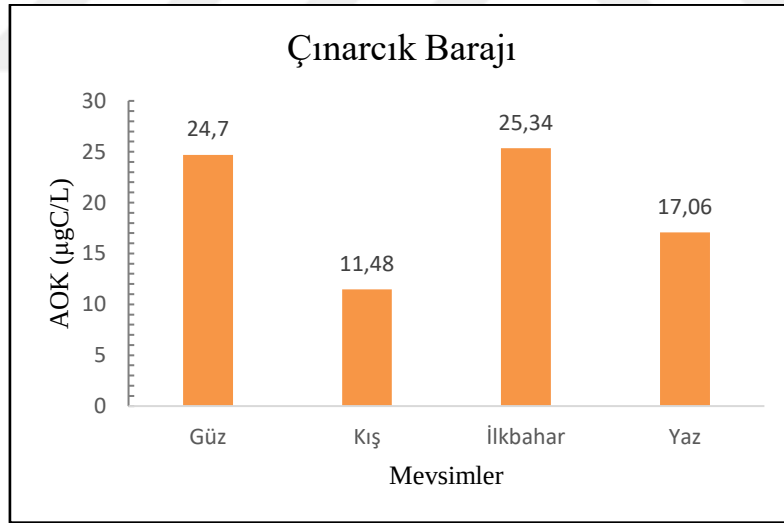
Baraj girişi ve Baraj çıkışından edinilen veriler karşılaştırıldığında baraj giriş noktasında sadece Kasım 2021'de yapılan ölçüm hariç, baraj çıkışına göre daha düşük miktarda AOK tespit edilmiştir. Bunun sebebinin baraj havzasındaki su akışı yönüne bağlı olarak organik içeriğin suyun biriktirildiği baraj çıkış noktasına taşınmasından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Doğal sulardaki AOK miktarının bölgesel şartlara göre değişkenlik gösteriyor olması ve Çınarcık Barajı'nın diğer iki barajdan farklı bir

havzada olup farklı bir kaynaktan besleniyor olması gözlemlenen farklılığın önemli nedenlerinden birisidir.

a)



b)



Şekil 4.4.4 a) Baraj içindeki AOK dağılımı b) AOK verilerinin mevsimsel ortalaması

Nilüfer Barajı

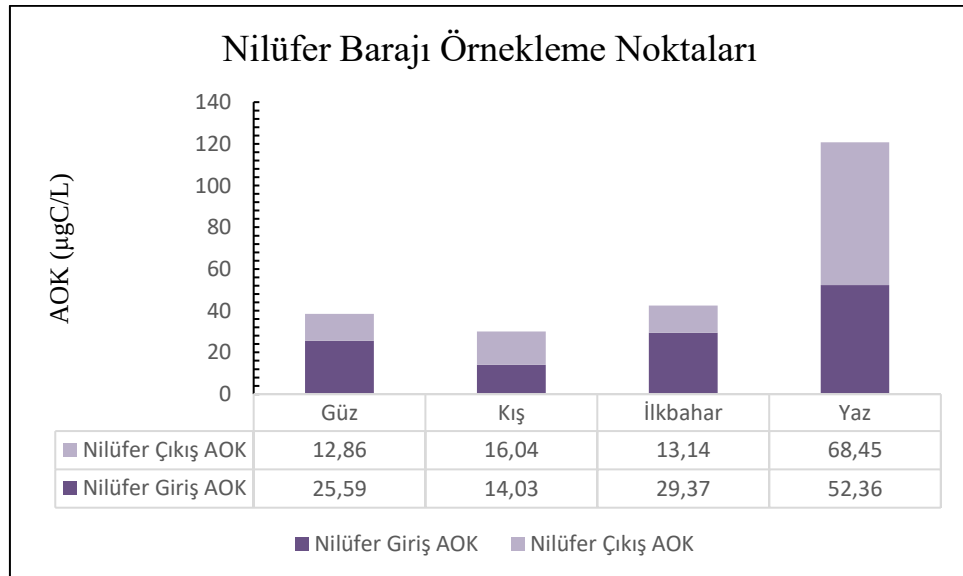
Nilüfer barajındaki AOK miktarının belirlenmesi için Şekil 4.4.5'te gösterilen baraj girişi ve baraj çıkışı örnek alma noktalarından örnekleme yapılmıştır. Baraj girişinden örnekleme periyodunda elde edilen veriler 25,59 14,03 29,37 ve 52,36 $\mu\text{g C/L}$ olup dört

mevsimin ortalaması 30,33 $\mu\text{g C/ L}$ hesaplanmıştır. En düşük ve en yüksek AOK konsantrasyonları Ocak ve Mayıs aylarında sırası ile 14,03 ve 29,37 $\mu\text{g C/ L}$ olarak ölçülmüştür. Baraj çıkışından Kasım 2021- Mayıs 2022 döneminde elde edilen verilere göre AOK sırası ile 12,86 16,04 13,14 ve 68,45 $\mu\text{g/ L}$ ölçülmüştür. Örnekleme dönemi boyunca hesaplanan ortalama AOK değeri 27.62 $\mu\text{g C/ L}$ olup en düşük AOK konsantrasyonu baraj girişindeki bulgulara benzer olarak Ocak ve Mayıs aylarında 12,86 ve 68,45 $\mu\text{g C/ L}$ olarak hesaplanmıştır. Nilüfer barajındaki iki örnekleme noktasının ortalama AOK konsantrasyonları sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz olmak üzere sırasıyla 19,22 15,03 21,25 ve 60,41 $\mu\text{g C/ L}$ olup, dört mevsimin ortalama konsantrasyon değeri 28,97 $\mu\text{g C/ L}$ hesaplanmıştır (n=8).

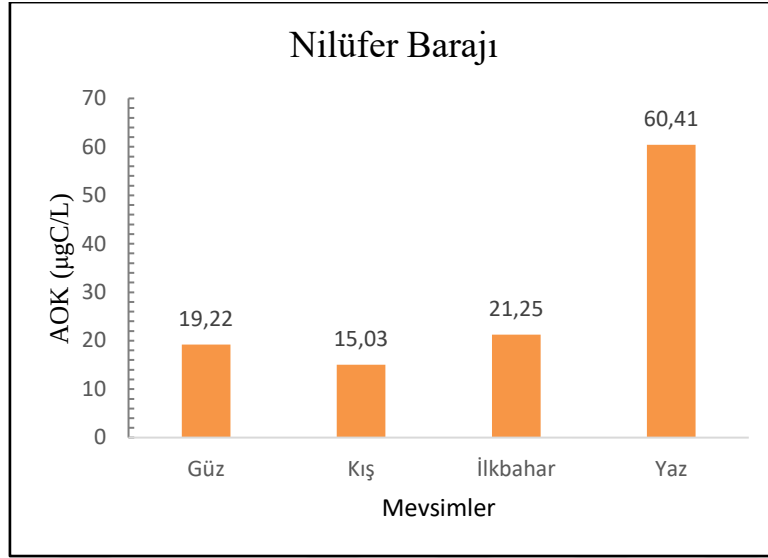


Şekil 4.4.5 Nilüfer Barajı örnek alma bölgeleri

a)



b)



Şekil 4.4.6 a) Baraj içindeki AOK dağılımı b) AOK verilerinin mevsimsel ortalaması

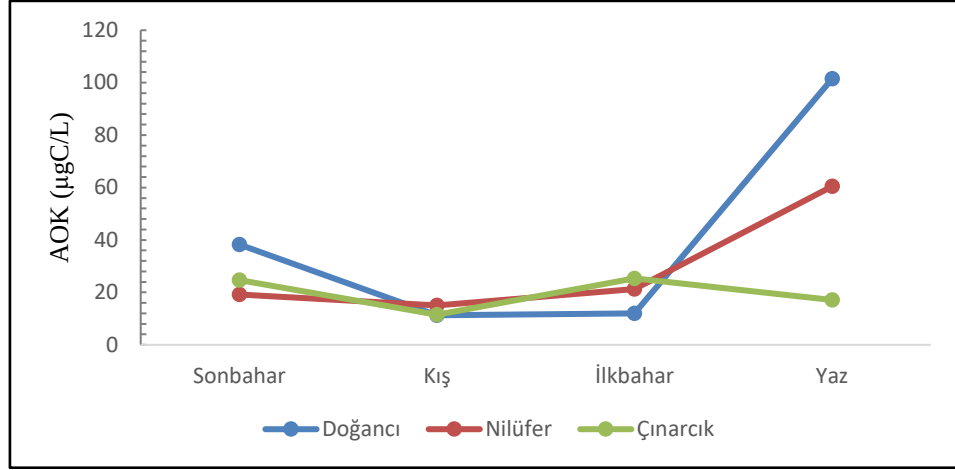
Nilüfer ve Doğancı barajına ait değerler incelendiğinde her iki barajda da ortalama AOK'nin mevsimsel değişiminin kış ve ilkbahar mevsiminde benzer nitelikte olduğu görülmektedir.

Doğancı ve Nilüfer barajları aynı havzada olup Uludağ'ın güney yamaçlarından yerüstüne çıkan Nilüfer çayından beslendiğinden araştırılan parametrelerde iki barajdan da benzer sonuçların elde edilmesi beklenmektedir. Ancak Şekil 4.4.8'de görüldüğü gibi Nilüfer barajı her iki barajı besleyen su kaynağına daha yakın bir konumda olup Doğancı barajının 20 km membağındadır. Ek olarak Nilüfer barajının etrafında Doğancı barajına göre daha az sayıda köy yerleşimi bulunmaktadır. Nilüfer barajında Doğancı'ya göre ölçülen daha düşük AOK değerlerinin bu konum avantajına bağlı olarak ve içerdği organik maddenin farklı moleküler ağırlıkta olabileceği söz konusu olduğundan mevcut su kalitesinin Doğancı'ya göre daha farklı olduğu düşünülmektedir.



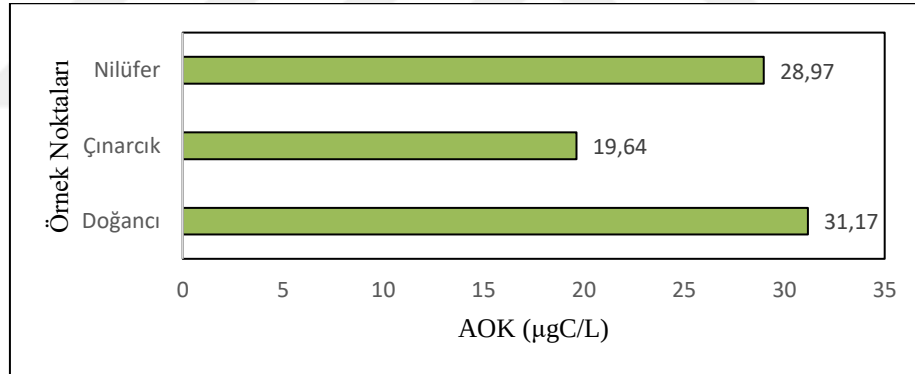
Şekil 4.4.7 Doğancı ve Nilüfer Barajlarını gösteren üç boyutlu uydu görüntüsü

Şekil 4.4.8’da her üç baraja ait ortalama AOK değerlerinin mevsimsel değişimi verilmektedir. Buna göre Çınarcık Barajındaki AOK değişiminin diğer iki barajdan farklı olduğu görülmektedir. Çınarcık Barajının beslendiği Orhaneli çayının civarda bulunan çeşitli yerleşim yerlerinin alıcı ortamı olmasına ve maden sahalarının olmasına rağmen, (Dalkıran Nurhayat, 2006) örnek alma istasyonlarında hesaplanan en düşük ortalama AOK miktarının Çınarcık barajında olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılığın temel nedeninin Çınarcık barajının diğer iki baraj ile aynı havzada olmamasından ve hali hazırda Orhaneli çayından besleniyor olmasına bağlı olarak farklı su karakteristiğine sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yaz mevsiminde Doğancı ve Nilüfer barajından edinilen bulguların aksine düşük miktarda ölçülen AOK değeri, Çınarcık barajında AOK’yı oluşturan organik maddenin moleküler ağırlığının 1 kDa’dan büyük olabileceğini veya TOK’u oluşturan organik maddelerin bakteriler tarafından kullanılamadığını, bu maddelerin dip tabakasında çökelmiş olabileceğini ya da kuvvetlenen UV ışınlarının etkisiyle parçalanmış olabileceği ihtimallerini işaret etmektedir (Shi-Hu vd., 2008).



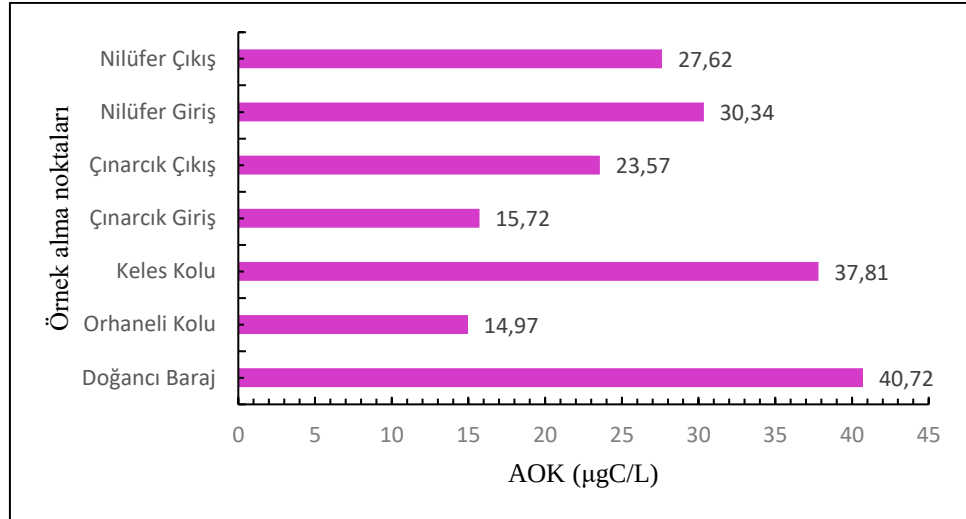
Şekil 4.4.8 Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarındaki AOK miktarlarının mevsimsel değişim davranışı

Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer Barajlarından elde edilen bulgular doğrultusunda en düşük ortalama AOK miktarının Çınarcık barajında ve en yüksek AOK miktarının Doğancı barajında tespit edildiği görülmektedir (Şekil 4.4.9).



Şekil 4.4.9 Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarından örnekleme dönemi boyunca elde edilen ortalama AOK miktarları

Şekil 4.4.10’de Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarını temsil eden tüm örnek alma noktalarının ortalama AOK konsantrasyonları verilmiştir. Burada AOK konsantrasyonu açısından kendi içerisinde en az değişkenlik gösteren baraj Nilüfer barajıdır. Örnekleme noktaları arasında en çok değişkenlik ise Doğancı Barajında kaydedilmiştir.



Şekil 4.4.10 Her bir örnekleme noktasının çalışma boyunca ortalama AOK miktarı

Bu çalışmada verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesinde her bir barajın özelinde veri sayısının kısıtlı olmasından dolayı yapılacak çıkarımın hatalı olma ihtimali göz önüne alınarak her üç barajın genelinde istatistiksel analiz yapılmıştır. Bu doğrultuda parametrik hipotez testlerinin uygulanması için verilerin normallik varsayımı test edildiğinde verilerin Kolmogorov-Smirnov normallik testine göre ($n=28$) Şekil 4.4.11’de verilen tabloya göre normal dağılmadığı tespit edilmiştir ($p=0,002 < 0,05$).

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
AOK_	,214	28	,002	,779	28	,000

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.4. 11 AOK verilerine uygulanan normallik testine ait SPSS çıktısı

Mevsimsel değişiklik gösterdiği gözlemlenen AOK konsantrasyonundaki bu farklılığın anlamlı olup olmadığının tespit edilmesi için literatürde sıklıkla kullanılan ANOVA testinin yerine verilerin normal dağılmamasından dolayı tek yönlü ANOVA testinin parametrik olmayan karşılığı olan Kruskal-Wallis H testi AOK verilerine uygulanmıştır.

Buna göre gözlemlenen mevsimsel farklılığın anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Asymp. Sig. 0,028 < 0,05).

Test Statistics^{a,b}

AOK_	
Kruskal-Wallis H	9,114
df	3
Asymp. Sig.	,028

a. Kruskal Wallis Test

Şekil 4.4.12 AOK'nin mevsimsel değişimini değerlendirmek için uygulanan Kruskal Wallis testine ait SPSS çıktısı

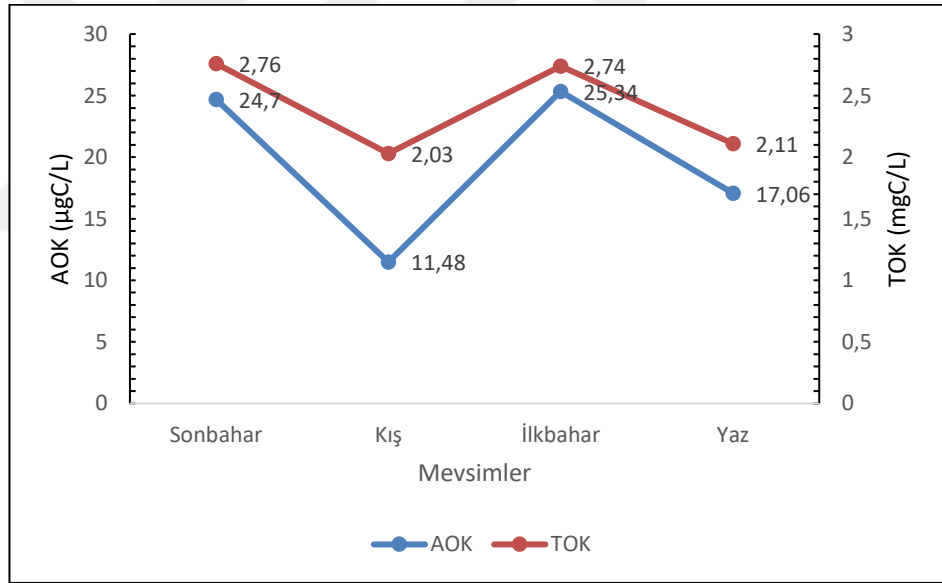
Yapılan tez çalışmasında Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarında tespit edilen AOK miktarlarının van der Kooij'in dezenfekte edilmemiş içme sularında biyolojik kararlılığın sağlanması için önerdiği <10 µg C/ L AOK değerinin üstünde olduğu görülmektedir (van der Kooij, Visser, vd., 1982). Ozonlama ve klorlama kullanılan dezenfeksiyon prosesleri AOK miktarını arttırdığından yüzeysel sularda tespit edilen AOK miktarı içme suyu ve içme suyu dağıtım sistemlerinde tespit edilen AOK miktarlarından genellikle daha düşük seviyelerdedir (Bourgin vd., 2018; F. Hammes vd., 2006, 2007; Lu & Zhang, 2005; Shi vd., 2021). İlaveten yüzeysel sulardaki AOK miktarı bölgeden bölgeye farklılık göstermekle beraber literatürdeki verilerin 20-245 µg C/L arasında olup AOK miktarının kış aylarında azaldığı yaz aylarında ise arttığı göze çarpmaktadır. (Hem & Efraimsen, 1999, 2001b; Pick vd., 2021; Ross vd., 2013). Çalışmada belirlenen AOK değerleri göz önünde bulundurulduğunda büyük bir kısmının bu aralık içerisinde yer aldığı görülmektedir.

4.5.Asimile Edilebilir Organik Karbon (AOK) Miktarının Toplam Organik Karbon (TOK) Miktarı ile İlişkisi

Sulardaki asimile edilebilir organik karbon, toplam organik karbonun % 0,1-9'luk bir kısmına tekabül ettiği bilinmekte olup (Escobar & Randall, 2001; F. Hammes vd., 2006;

Kortelainen Water, 1993; van der Kooij, 1992), tümnden gelimde toplam organik karbonun bir fraksiyonu olması nedeniyle bulgulara AOK ve TOK arasında bir ilişki olması beklenmektedir.

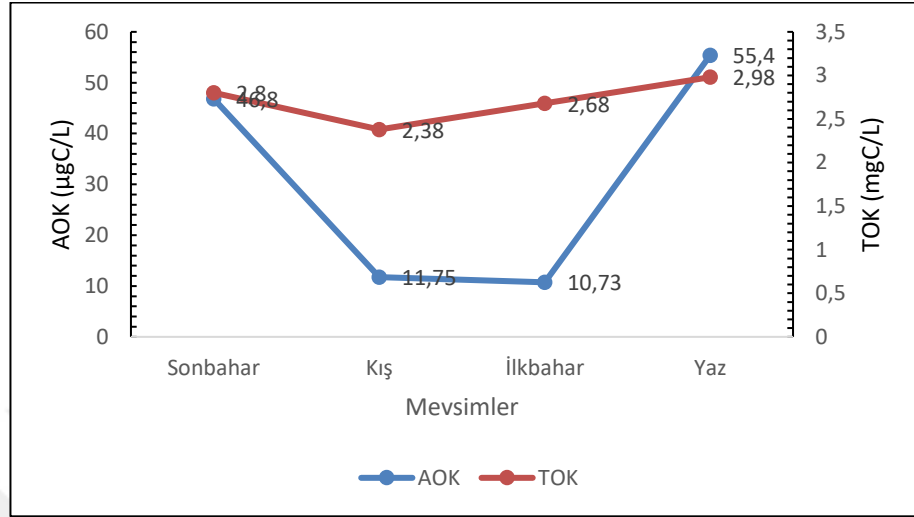
Bursa İlinin içme suyu ihtiyacını karşılayan Doğancı ve Nilüfer Barajı ile ilerleyen dönemde bu amaçla kullanılması düşünülen Çınarcık Barajında belirlenen noktalarda gözlem dönemi boyunca yapılan örneklemeler (n=12) sonucunda AOK ve TOK arasında bir bağıntı olduğu göze çarpmaktadır. Çınarcık barajından edinilen bulgulara göre AOK ve TOK miktarının en düşük olduğu dönem kış mevsimi olup, AOK ve TOK miktarlarındaki değişim oldukça benzer eğilim göstermiştir (Şekil 4.5.1). İki parametre arasındaki ilişkinin diğer verilerle kıyaslandığında en güçlü olduğu örnekleme noktası Çınarcık barajıdır.



Şekil 4.5.1 Çınarcık barajından elde edilen AOK ve TOK miktarlarının mevsimsel değişim eğrileri

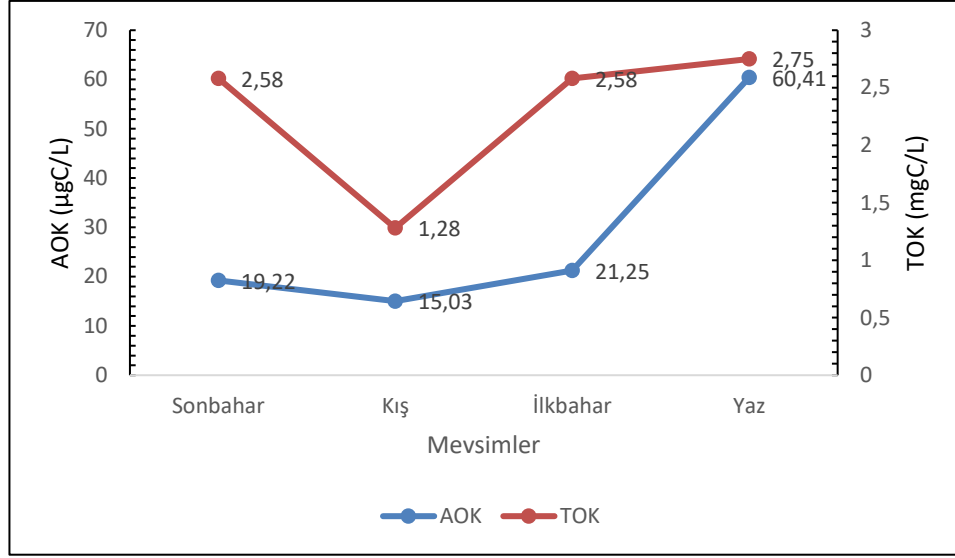
Doğancı barajından elde edilen bulgulara göre AOK ve TOK miktarının en düşük olduğu dönem Çınarcık barajındaki gibi kış mevsimidir. Şekil 4.5. 2.de verilen grafikte AOK ve TOK miktarlarındaki değişimin kısmen benzer eğilim gösterdiği görülmektedir. Her iki parametre için ölçülen en yüksek değer ise yaz mevsiminde kaydedilmiştir.

Doğancı barajında AOK ve TOK'nin mevsimsel değişimi kısmen benzerliktedir ancak Çınarcık barajında görülen değişim kadar yüksek bir benzerlik oranı tespit edilmemiştir.



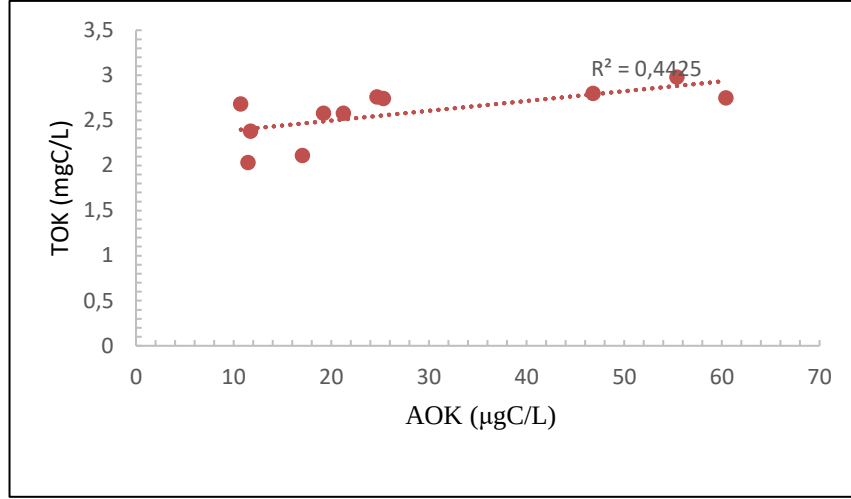
Şekil 4.5.2 Doğancı barajındaki AOK-TOK miktarlarının mevsimsel değişim eğrileri

Örnekleme periyodunda Nilüfer barajında yapılan ölçüm sonuçlarına göre en düşük AOK-TOK miktarı kış mevsiminde kaydedilmiştir. Her iki parametrenin en yüksek olduğu dönem ise yaz mevsimidir. Doğancı barajındaki AOK ve TOK miktarının mevsimsel değişim eğrilerinin eğilimlerinin nispeten benzer olduğu Şekil 4.5.3'te görülmektedir.



Şekil 4.5.3 Nilüfer barajındaki AOK-TOK miktarlarının mevsimsel değişim eğrileri

AOK-TOK arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinde Şekil 4.5.4'te AOK-TOK arasında bir dağılım grafiği oluşturulduğunda Şekil 4.4.1, Şekil 4.4.2 ve Şekil 4.4.3'te verilen grafikleri destekler nitelikte iki parametre arasında aynı yönlü fakat zayıf bir ilişki olduğu ($r^2 = 0,44$) bulunmuştur. Bulunan r^2 değeri Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarında $r^2 = 0,3-0,92$ arasında değişim göstermiştir. Bulgular değerlendirildiğinde tespit edilen TOK miktarının yaklaşık % 44'ünün AOK miktarı ile açıklanabilir olduğu sonucuna varılabilir. Veriler literatürle karşılaştırıldığında AOK-TOK arasındaki korelasyonun $r^2 = 0,12-0,69$ arasında değişkenlik gösterdiği görülmektedir (Lu & Zhang, 2005; Prest vd., 2016).



Şekil 4.5.4 Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarındaki tüm örnekleme noktalarından elde edilen AOK ve TOK verilerinin dağılım diyagramı ve elde edilen korelasyon değeri

Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarında TOK'nin bakteriler tarafından kullanılabilir kısmını tespit etmek amacıyla literatürde de sıklıkla kullanılan AOK/TOK oranları hesaplanıp Çizelge 4.5.1'de her bir baraj için verilmiştir (Hem & Efraimsen, 2001a; Liang T. vd., 2011). Bulgular literatürle birlikte değerlendirildiğinde, elde edilen oranların Hem ve Efraimsen (2001)'nin üç gölden elde ettiği AOK/TOK sonuçları ile (1. göl=12, 2. göl= 13, 3. göl= 14) yakın değerlerde olduğu görülmektedir (Hem & Efraimsen, 2001a). İçme sularında ise AOK/TOC oranının yaklaşık 1,4-7,86 arasında değiştiği daha önceki çalışmalarda belirtilmiştir (Ohkouchi vd., 2011; Zhang vd., 2019).

Çizelge 4.5.1 Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarında ölçülen AOK ve TOK miktarının oranı

AOK/TOK (µg / mg)		
Doğancı	Çınarcık	Nilüfer
11,5	8,15	12,65

Çalışma kapsamında örneklerdeki AOK miktarının TOK miktarının yüzde kaçına tekabül ettiği de hesaplanmış olup, değerler % 0,4 ila % 2,19 arasında değişkenlik göstermiştir (n=12). Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarındaki ortalama değerler Çizelge 4.5.2'de gösterilmiştir. Edinilen bulgular Hem ve Efraimsen (1999)'in yapmış

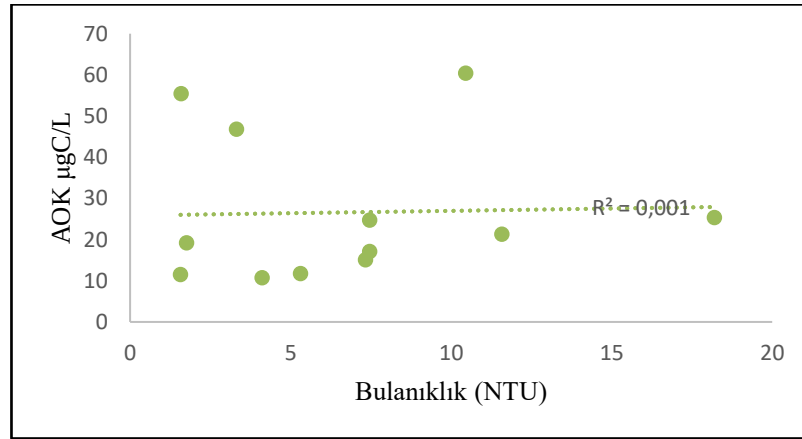
olduğu bir çalışmada iki doğal gölde hesaplanan TOK içerisindeki % AOK miktarları (% 0,32 ile % 0,92) ile benzerlik göstermekte olup, literatürde verilen % 0,1 ile % 9 değerleri arasında yer almaktadır (Hem & Efraimsen, 1999; van der Kooij, 1992) .

Çizelge 4.5.2 Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarında hesaplanan TOK içerisindeki % AOK değerleri

TOK içerisindeki % AOK Miktarı		
Doğancı	Çınarcık	Nilüfer
% 1,1	% 0,79	% 1,23

4.6. AOK Miktarı ile Bulanıklık Arasındaki İlişki

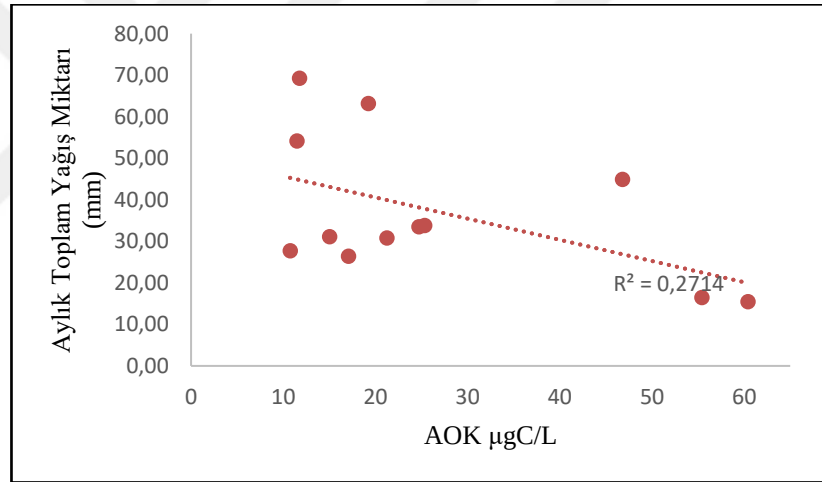
Sulardaki AOK'nin yeniden büyümeyi desteklemesi sebebiyle özellikle içme sularında bulanıklık ve renk parametresinde artış olması beklenebilir bir durumdur (Hem & Efraimsen, 2001a). Yapılan tez çalışmasında barajlardaki AOK ve bulanıklık arasında bir ilişki olup olmadığı istatistiksel olarak test edilmiş olup, verilerin normal dağılmaması nedeniyle Spearman korelasyon testi uygulanmıştır. Şekil 4.6.1'de verilen test sonuçlarına göre AOK ve bulanıklık arasında herhangi bir ilişki olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.6.1 AOK- Bulanıklık arasında oluşturulan dağılım grafiği ve elde edilen r^2 değeri

4.7. Baraj Suyu Örneklerinde Tespit Edilen AOK Miktarı ile Meteorolojik Veriler Arasındaki İlişki

Göller ve barajlar gibi yüzey alanı geniş doğal sularda yüzeysel su örnekleme yapılacak olan çalışmalarda yağış miktarının askıda katı madde (AKM) miktarına, bulanıklık, renk ve seyrelmeye olan etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Meteoroloji Genel Müdürlüğünden Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarındaki örnekleme yerlerini temsil edecek istasyonlardan talep edilen aylık toplam yağış miktarı ile AOK arasındaki ilişki araştırılmış olup Şekil 4.6.1’de de gösterildiği üzere bir ilişki olmadığı tespit edilmiştir. Ancak verilen bu sonuçlar öngörü niteliğinde olup, bu konuda kesin bir yargıya ulaşmak için örnekleme yapılan noktalarda aylık toplam yağış miktarları kaydedilmelidir.



Şekil 4.7.1 Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarındaki aylık toplam yağış miktarı ile AOK arasındaki ilişki

5. SONUÇ

Yapılan bu yüksek lisans tezi kapsamında Bursa ilinde bulunan Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajındaki pH, iletkenlik, bulanıklık, toplam organik karbon ve asimile edilebilir organik karbon parametreleri mevsimsel olarak takip edilip değerlendirilmiştir. Örnekleme süreci boyunca izlenen barajlardaki seçilen istasyonlarda meteorolojik parametrelerin takibi için Meteoroloji Genel Müdürlüğünden veri talep edilmiştir.

Edinilen bulgular doğrultusunda incelenen üç barajın su kalitesi parametrelerinin İçme Suyu Elde Edilen veya Elde Edilmesi Planlanan Yüzeysel Suların Kalitesine Dair Yönetmelik'e uygun olduğu tespit edilmiştir.

İzlenen AOK parametresinin her bir barajda mevsimsel olarak değişkenlik gösterdiği belirlenmiş olup kış mevsiminde azalan AOK'nin yaz mevsiminde arttığı görülmüştür ve bu bulgular literatür ile uyumaktadır. Tüm AOK verileri % 95 güven aralığında istatistiksel olarak değerlendirildiğinde gözlemlenen mevsimsel değişimin anlamlı olduğu kanısına varılmıştır. Doğancı, Çınarcık ve Nilüfer barajlarında tespit edilen ortalama AOK miktarı sırası ile 31.17, 19.64 ve 28.97 $\mu\text{g C/L}$ 'dir. AOK miktarı açısından değerlendirildiğinde Doğancı ve Nilüfer barajlarının birbirine yakın su kalitesine sahip olduğu görülmüş olup Çınarcık barajının daha düşük AOK miktarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Tüm AOK verileri değerlendirildiğinde her üç baraj suyunun van der Kooij'in dezenfekte edilmemiş sular için önermiş olduğu sınır değer 10 $\mu\text{g C/L}$ AOK'nin üzerinde olduğu görülmektedir ve bu durum biyolojik kararlılığı desteklememektedir. Mevcut bir AOK konsantrasyonuna sahip baraj sularının arıtılıp şebekeye verilmesi ve evlere ulaşması esnasında kullanılacak arıtma prosesleri ve dezenfeksiyon işlemi ile zaten var olan AOK miktarının artacağı öngörülmektedir.

AOK ile ilişkili olarak TOK miktarları da izlenmiş olup AOK ile TOK arasında oluşturulan dağılım grafiğine göre aynı yönlü zayıf bir ilişki olduğu ($r^2= 0,44$) sonucuna ulaşılmıştır. Bu ilişkiyi desteklemek için AOK/TOK oranları ve TOK içindeki % AOK miktarları hesaplanmış olup bulgular literatür ile uyumaktadır. AOK/TOK oranının

8,15-12,65 arasında olduğu ve TOK içerisindeki % AOK miktarının ise % 0,4- % 2,19 arasında olduğu hesaplanmıştır.

Baraj suyu örneklerindeki AOK miktarı ile bulanıklık arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. AOK ile birlikte meteorolojik veriler değerlendirildiğinde aylık toplam yağış parametresi ile bir ilişki bulunamamıştır ancak bu sonuç bir öngörü niteliğindedir.

Türkiye'nin 4. büyük ili olan ve aynı zamanda ülkemizdeki nc sanayi şehirlerinden birisi olan Bursa'nın nüfusu gün geçtikçe artmaktadır. Artan nüfusla birlikte şehrin mevcut su ihtiyaç öngörülen miktarın üzerine çıkmaktadır. Gelecekteki içme suyu talebini karşılamak üzere yapılan planlamalarda biyolojik kararlılığın korunması, arıtma ve şebeke maliyetlerinin optimumda tutulması için içme suyu kaynaklarında ve şebekeye verilen suda izlenen standart su kalitesi parametrelerine ek olarak AOK'nin de izlenmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

Yapılan bu tez alışması Türkiye'de bilinen ilk yüzeysel sularda AOK'nin belirlendiği araştırma olup, gelecekte konu hakkında çalışacak araştırmacılara bölgesel anlamda literatür verisi sağlayacağı ve özellikle kültürel yöntem ile AOK belirlenmesi konusunda faydalı bir kaynak olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Ağırlioğlu N. (2007). *Baraj Planlama ve Tasarımı (Cilt I, II, III): C. Cilt I*. Su Vakfı Yayınları.
- Alkan Ufuk, T. A. A. Ö. (2005). Determination of environmental factors influencing bacterial regrowth in drinking water distribution system. *itüdergisi/e*, 1-3, 43-55.
- Anonim. (2020a, Ocak 5). *Nilüfer Barajı*. https://tr.wikipedia.org/wiki/Nil%C3%BCfer_Baraj%C4%B1.
- Anonim. (2020b, Temmuz 18). *Çınarcık Barajı ve Hidroelektrik Santrali*. https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87%C4%B1narc%C4%B1k_Baraj%C4%B1_v_e_Hidroelektrik_Santrali.
- Anonim. (2021, Ekim 30). *Doğancı-1 Barajı*. https://tr.wikipedia.org/wiki/Do%C4%9Fanc%C4%B1-1_Baraj%C4%B1.
- APHA, & AWWA. (1992). *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater* (Baird Rodger B., Eaton Andrew D., & Rice Eugene W., Ed.). American Public Health Association.
- Aytaç Aykut S, Mercanoğlu Birce, & Özbaş Yeşim S. (2001). Tampon Çözeltide İmmunomanyetik Ayırma Ve Atp Biyoluminesans Yöntemleri İle Escherichia Coli 0157: H7 Sayımı. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 58(2), 49-52.
- Bilgin, M. (2003). *Niğde İli İçme Sularının Fiziksel ve Bakteriyolojik Olarak İncelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Niğde Üniversitesi.
- Bourgin, M., Beck, B., Boehler, M., Borowska, E., Fleiner, J., Salhi, E., Teichler, R., von Gunten, U., Siegrist, H., & Mc Ardell, C. S. (2018). Evaluation of a full-scale wastewater treatment plant upgraded with ozonation and biological post-treatments: Abatement of micropollutants, formation of transformation products and oxidation by-products. *Water Research*, 129, 486-498. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.10.036>
- BUSKİ Genel Müdürlüğü. (2022). *2020 Faaliyet Raporu*.
- Charnock, C., & Kjénné, O. (2000). Assimilable Organic Carbon And Biodegradable Dissolved Organic Carbon In Norwegian Raw And Drinking Waters. *Water Research*, 34(10), 2629-2642. www.elsevier.com/locate/watres
- Chen, W. T., Chien, C. C., Ho, W. S., Ou, J. H., Chen, S. C., & Kao, C. M. (2022). Effects of treatment processes on AOC removal and changes of bacterial diversity in a water treatment plant. *Journal of Environmental Management*, 311. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114853>
- Chen, Z., Yu, T., Ngo, H. H., Lu, Y., Li, G., Wu, Q., Li, K., Bai, Y., Liu, S., & Hu, H. Y. (2018). Assimilable organic carbon (AOC) variation in reclaimed water: Insight on biological stability evaluation and control for sustainable water reuse. *Bioresource Technology*, 254, 290-299. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.111>
- Chittoor Viswanathan, V., Molson, J., & Schirmer, M. (2015). Does river restoration affect diurnal and seasonal changes to surface water quality? A study along the Thur River, Switzerland. *Science of the Total Environment*, 532, 91-102. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.121>
- Choi, Y., Park, H., Lee, M., Lee, G. S., & Choi, Y. J. (2019a). Seasonal variation of assimilable organic carbon and its impact to the biostability of drinking water. *Environmental Engineering Research*, 24(3), 501-512. <https://doi.org/10.4491/EER.2018.299>

- Choi, Y., Park, H., Lee, M., Lee, G. S., & Choi, Y. J. (2019b). Seasonal variation of assimilable organic carbon and its impact to the biostability of drinking water. *Environmental Engineering Research*, 24(3), 501-512. <https://doi.org/10.4491/EER.2018.299>
- Cottrell, B. A., Gonsior, M., Isabelle, L. M., Luo, W., Perraud, V., McIntire, T. M., Pankow, J. F., Schmitt-Kopplin, P., Cooper, W. J., & Simpson, A. J. (2013). A regional study of the seasonal variation in the molecular composition of rainwater. *Atmospheric Environment*, 77, 588-597. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.05.027>
- ÇMO Bursa Şubesi, T. (2022). *Bursa Su Durum Raporu*.
- Dalkıran Nurhayat. (2006). *Orhaneli Çayı'nın Epilitik Diyatomeleleri ve Bentik Omurgasızlarının ilişkilendirilmesi İle Kirlilik Düzeyinin Saptanması* [Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi]. <https://www.proquest.com/docview/2606900497?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true>
- DSİ 1.Bölge Müdürlüğü. (2022, Mart 18). *İşletmedeki Baraj ve Göletler*. <https://bölge01.dsi.gov.tr>.
- Dunphy, C. H. (2004). Applications of Flow Cytometry and Immunohistochemistry to Diagnostic Hematopathology. *Arch Pathol Lab Med*, 128.
- Elhadidy, A. M., van Dyke, M. I., Peldszus, S., & Huck, P. M. (2016). Application of flow cytometry to monitor assimilable organic carbon (AOC) and microbial community changes in water. *Journal of Microbiological Methods*, 130, 154-163. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2016.09.009>
- Elmaci, A., Teksoy, A., Olcay Topaç, F., Özengin, N., & Başkaya, H. S. (2008). Uluabat Gölünün Mikrobiyolojik Özelliklerinin Mevsimsel Değişiminin İzlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 13, 93-103.
- Escobar, I. C., & Randall, A. A. (2001). Assimilable Organic Carbon (AOC) And Biodegradable Dissolved Organic Carbon (BDOC): Complementary Measurements. *Wat. Res*, 35(18), 4444-4454.
- Fakioğlu, Ö., Atamanalp, M., Demdr, N., Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, A., Üniversitesi, A., Fakültesi, Z., & Ürünleri Mühendisliği Bölümü, S. (2011). *Baraj Göllerinde Toksik Mavi-Yeşil Algler Toxic Blue-Green Algae in Dam Lakes*. 3(2), 65-71.
- Farhat, N., Kim, L., Mineta, K., Alarawi, M., Gojobori, T., Saikaly, P., & Vrouwenvelder, J. (2022). Seawater desalination based drinking water: Microbial characterization during distribution with and without residual chlorine. *Water Research*, 210. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2021.117975>
- Gergin, M. N., & Cuci, Y. (2017). Recovering Of Textile Waste Water With Membrane Filtration Methods. *KSU. Journal of Engineering Sciences*, 20(3), 2017.
- Haddix, P. L., Shaw, N. J., & LeChevallier, M. W. (2004). Characterization of Bioluminescent Derivatives of Assimilable Organic Carbon Test Bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(2), 850-854. <https://doi.org/10.1128/AEM.70.2.850-854.2004>
- Hammes, F. (2008). A comparison of AOC methods used by the different TECHNEAU partners. *TECHNEAU Integrated Project*, 3(3), 10.
- Hammes, F. A., & Egli, T. (2005). New method for assimilable organic carbon determination using flow-cytometric enumeration and a natural microbial

- consortium as inoculum. *Environmental Science and Technology*, 39(9), 3289-3294. <https://doi.org/10.1021/es048277c>
- Hammes, F., Berger, C., Köster, O., & Egli, T. (2010). Assessing biological stability of drinking water without disinfectant residuals in a full-scale water supply system. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 59(1), 31-40. <https://doi.org/10.2166/aqua.2010.052>
- Hammes, F., Meylan, S., Salhi, E., Köster, O., Egli, T., & von Gunten, U. (2007). Formation of assimilable organic carbon (AOC) and specific natural organic matter (NOM) fractions during ozonation of phytoplankton. *Water Research*, 41(7), 1447-1454. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.01.001>
- Hammes, F., Salhi, E., Köster, O., Kaiser, H. P., Egli, T., & von Gunten, U. (2006). Mechanistic and kinetic evaluation of organic disinfection by-product and assimilable organic carbon (AOC) formation during the ozonation of drinking water. *Water Research*, 40(12), 2275-2286. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.04.029>
- Hem, L. J., & Efraïmsen, H. (1999). Isolation Of Natural Organic Matter-The Influence On The Assimilable Organic Carbon. *Environment International*, 25(3), 367-371.
- Hem, L. J., & Efraïmsen, H. (2001a). Assimilable Organic Carbon in Molecular Weight Fractions of Natural Organic Matter. *Wat. Res*, 35(4), 1106-1110.
- Hem, L. J., & Efraïmsen, H. (2001b). ASSIMILABLE ORGANIC CARBON IN MOLECULAR WEIGHT FRACTIONS OF NATURAL ORGANIC MATTER. İçinde *Wat. Res* (C. 35, Sayı 4).
- Holloway, T. G., Williams, J. B., Ouelhadj, D., & Yang, G. (2022). Exploring the use of water resource recovery facility instrument data to visualise dynamic resilience to environmental stressors. *Water Research*, 221. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118711>
- Holm-Hansen, O., & Booth, C. R. (1966). The Measurement Of Adenosine Triphosphate In The Ocean And Its Ecological Significance. *Limnology and Oceanography*, 11(4), 510-519. <https://doi.org/10.4319/lo.1966.11.4.0510>
- Huck, P. M. (1990). Measurement of biodegradable organic matter and bacterial growth potential in drinking water. *Journal / American Water Works Association*, 82(7), 78-86. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1990.tb06995.x>
- Jorgensen, S. E., Löffler, H., Rast, W., & Milsn Straskraba. (2005). *Lake and Reservoir Management* (C. 21). Elsevier.
- Kaplan, L. A., Bott, T. L., & Reasoner, D. J. (1993). Evaluation and Simplification of the Assimilable Organic Carbon Nutrient Bioassay for Bacterial Growth in Drinking Water. *Applied and environmental microbiology*, 59(5), 1532-1539.
- Karaboz, İ., Kayar, E., & Akar, S. (2008). Flow Sitometri ve Kullanım Alanları. *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi*, 6(2), 1-18. www.mikrobiyoloji.org/pdf/702080201.pdf
- Karl, D. M. (1980). Cellular Nucleotide Measurements and Applications in Microbial Ecology. *Microbiological reviews*, 44(4), 739-796. <https://journals.asm.org/journal/mr>
- Kâtip, A., & Karaer, F. (2011). Uluabat Gölü Su Kalitesinin Türk Mevzuatına ve Uluslararası Kriterlere Göre Değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16(2). www.livinglakes.org

- Kaya, F. (2017). *İzmir İli Merkez İlçelerde Su Yolu İle Bulaşan Bildiimi Zorunlu Hastalıkların Coğrafi Bilgi Sistemi İle Mekansal Analizi ve Yoğunlaştığı Riskli Bölgelerin Belirlenmesi 2011-2015* [Uzmanlık Tezi]. Ege Üniversitesi.
- Kemmy, F. A., Fry, J. C., & Breach, R. A. (1989). Development and Operational Implementation of a Modified and Simplified Method for Determination of Assimilable Organic Carbon (AOC) in Drinking Water. *Water Science and Technology*, 21(3), 155-159. <https://doi.org/10.2166/WST.1989.0094>
- Kortelainen Water, P. (1993). Content of Tota Organic Carbon in Finnish Lakes and Relationship to Catchment Characteristics For personal use only. İçinde B 444 *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* Downloaded from www.nrcresearchpress.com by NC STATE UNIVERSITY on (C. 50). www.nrcresearchpress.com
- Küçükıılmaz, M., Uslu, G., Birici, N., Örnekçi, N. G., Yıldız, N., & Şeker, T. (2017). Karakaya Baraj Gölü Su Kalitesinin İncelenmesi. *Yunus Araştırma Bülteni*, 2, 145-155.
- Lechevallier, M. W., Schulz, And, W., & Lee2, R. G. (1991). Bacterial Nutrients in Drinking Water. *Applied and environmental microbiology*, 57(3), 857-862. <https://journals.asm.org/journal/aem>
- Lechevallier, M. W., Shaw, N. E., Kaplan, L. A., & Bowt2, T. L. (1993). Development of a Rapid Assimilable Organic Carbon Method for Water. *Applied and environmental microbiology*, 59(5), 1526-1531. <https://journals.asm.org/journal/aem>
- Leitão, J. M. M., & Esteves da Silva, J. C. G. (2010). Firefly luciferase inhibition. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 101(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2010.06.015>
- Levy, R. V., Hart, F. L., & Cheetham, R. D. (1986). Occurrence And Public Health Significance Of Invertebrates In Drinking Water Systems. *Journal / American Water Works Association*, 78(9), 105-110. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1986.tb05817.x>
- Li, G. Q., Yu, T., Wu, Q. Y., Lu, Y., & Hu, H. Y. (2017). Development of an ATP luminescence-based method for assimilable organic carbon determination in reclaimed water. *Water Research*, 123, 345-352. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.06.082>
- Liang T., Ma J., Liu H., & Xi X. (2011). Effect of potassium permanganate pre-oxidation on AOC. *International Conference on Electric Technology and Civil Engineering (ICETCE)*, 4089-4092.
- Liu, G., Verberk, J. Q. J. C., & van Dijk, J. C. (2013). Bacteriology of drinking water distribution systems: An integral and multidimensional review. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(21), 9265-9276. <https://doi.org/10.1007/s00253-013-5217-y>
- Liu, G., Zhang, Y., Liu, X., Hammes, F., Liu, W. T., Medema, G., Wessels, P., & van der Meer, W. (2020). 360-Degree Distribution of Biofilm Quantity and Community in an Operational Unchlorinated Drinking Water Distribution Pipe. *Environmental Science and Technology*, 54(9), 5619-5628. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b06603>
- Liu, W., Wu, H., Wang, Z., Ong, S. L., Hu, J. Y., & Ng, W. J. (2002). Investigation of assimilable organic carbon (AOC) and bacterial regrowth in drinking water distribution system. *Water Research*, 36, 891-898.

- Liu, X., Wang, J., Liu, T., Kong, W., He, X., Jin, Y., & Zhang, B. (2015). Effects of assimilable organic carbon and free chlorine on bacterial growth in drinking water. *PLoS ONE*, 10(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128825>
- Loos, R., Carvalho, R., António, D. C., Comero, S., Locoro, G., Tavazzi, S., Paracchini, B., Ghiani, M., Lettieri, T., Blaha, L., Jarosova, B., Voorspoels, S., Servaes, K., Haglund, P., Fick, J., Lindberg, R. H., Schwesig, D., & Gawlik, B. M. (2013). EU-wide monitoring survey on emerging polar organic contaminants in wastewater treatment plant effluents. *Water Research*, 47(17), 6475-6487. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2013.08.024>
- Lu, W., & Zhang, X.-J. (2005). Factors Affecting Bacterial Growth in Drinking Water Distribution System 1. *Biomedical And Environmental Sciences*, 18, 137-140.
- Miettinen, I. T., Vartiainen, T., & Martikainen, P. J. (1999). Determination of assimilable organic carbon in humus-rich drinking waters. *Water Research*, 33(10), 2277-2282. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00461-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00461-8)
- Mohammed, A. B., Raju, A. K. S., Lee, J., Oh, Y., & Jeong, S. (2021). Non-chemical biofouling mitigation systems for seawater cooling tower using granular activated carbon biofiltration and ultrafiltration. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106784>
- Mustafa, N. (2020). *Poyrazlar Gölünün Mikrobiyolojik Kirlilik Seviyesinin Belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Sakarya Üniversitesi.
- Naidu, G., Jeong, S., Vigneswaran, S., & Rice, S. A. (2013). Microbial activity in biofilter used as a pretreatment for seawater desalination. *Desalination*, 309, 254-260. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.10.016>
- Nocker, A., Schulte-illingheim, L., Müller, H., Rohn, A., Zimmermann, B., Gaba, A., Nahrstedt, A., Mohammadi, H., Tiemann, Y., & Krömer, K. (2020). Microbiological changes along a modular wastewater reuse treatment process with a special focus on bacterial Regrowth. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 10(4), 380-393. <https://doi.org/10.2166/wrd.2020.012>
- Ohkouchi, Y., Ly, B. T., Ishikawa, S., Aoki, Y., Echigo, S., & Itoh, S. (2011). A survey on levels and seasonal changes of assimilable organic carbon (AOC) and its precursors in drinking water. *Environmental Technology*, 32(14), 1605-1613. <https://doi.org/10.1080/09593330.2010.545439>
- İçme Suyu Elde Edilen veya Elde Edilmesi Planlanan Yüzeysel Suların Kalitesine Dair Yönetmelik, Pub. L. No. 28338, T.C. Resmi Gazete (2012).
- Özdemir D., & Yılmaz F. (2007). Dalaman Çayı üzerindeki bereket hidro-elektrik santrali baraj gölü Isyunun bazı fiziko-kimyasal parametrelerinin ve balık faunasının araştırılması. *Çev-Kor Ekoloji*, 16, 30-36.
- Özgün, G., Vaheddoost, B., & Aras, E. (2020). Standart Yağış İndeksi(SPI) Metodu Kullanılarak Kuraklık Analizi ve Bursa Doğancı Barajı ile İlişkilendirilmesi. *Academic Perspective Procedia*, 3(2), 876-885. <https://doi.org/10.33793/acperpro.03.02.23>
- Pick, F. C., Fish, K. E., & Boxall, J. B. (2021). Assimilable organic carbon cycling within drinking water distribution systems. *Water Research*, 198. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117147>
- Polanska, M., Huysman, K., & Van Keer, C. (2005). Investigation of assimilable organic carbon (AOC) in flemish drinking water. *Water Research*, 39(11), 2259-2266. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.04.015>

- Polanska, M., Huysman, K., & van Keer, C. (2005). Investigation of assimilable organic carbon (AOC) in Flemish drinking water. *Water Research*, 39(11), 2259-2266. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.04.015>
- Prest, E. I., Weissbrodt, D. G., Hammes, F., van Loosdrecht, M. C. M., & Vrouwenvelder, J. S. (2016). Long-term bacterial dynamics in a full-scale drinking water distribution system. *PLoS ONE*, 11(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164445>
- Ren, X., & Chen, H. (2021a). Effect of residual chlorine on the interaction between bacterial growth and assimilable organic carbon and biodegradable organic carbon in reclaimed water. *Science of the Total Environment*, 752. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141223>
- Ren, X., & Chen, H. (2021b). Effect of residual chlorine on the interaction between bacterial growth and assimilable organic carbon and biodegradable organic carbon in reclaimed water. *Science of the Total Environment*, 752. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141223>
- Ross, P. S., Hammes, F., Dignum, M., Magic-Knezev, A., Hambsch, B., & Rietveld, L. C. (2013). A comparative study of three different assimilable organic carbon (AOC) methods: Results of a round-robin test. *Water Science and Technology: Water Supply*, 13(4), 1024-1033. <https://doi.org/10.2166/ws.2013.079>
- Sack, E. L. W., van der Wielen, P. W. J. J., & van der Kooij, D. (2010). Utilization of oligo- and polysaccharides at microgram-per-litre levels in freshwater by *Flavobacterium johnsoniae*. *Journal of Applied Microbiology*, 108(4), 1430-1440. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04546.x>
- Sai Hyun Lee, O'Connor, J. T., & Banerji, S. K. (1980). Biologically Mediated Corrosion And Its Effects On Water Quality In Distribution Systems. *Journal / American Water Works Association*, 72(11), 636-645. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1980.tb04600.x>
- Shi, X., Chen, Z., Lu, Y., Shi, Q., Wu, Y., & Hu, H. Y. (2021). Significant increase of assimilable organic carbon (AOC) levels in MBR effluents followed by coagulation, ozonation and combined treatments: Implications for biostability control of reclaimed water. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 15(4). <https://doi.org/10.1007/s11783-020-1360-8>
- Shi-Hu, S., Min, Y., Nai-Yun, G., & Wen-Jie, H. (2008). Molecular weight distribution variation of assimilable organic carbon during ozonation/BAC process. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 57(4), 253-258. <https://doi.org/10.2166/aqua.2008.041>
- Sözer, M. (2006). *Diyarbakır İçme Suyu Projesinin Arıtım Teknikleri ve Kalite Kontrol Parametreleri Açısından Değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Dicle Üniversitesi.
- Standard Methods. (2022, Aralık 3). 9217 Assimilable Organic Carbon . <https://www.standardmethods.org/doi/10.2105/SMWW.2882.190>.
- Stanley P.E. (1989). A review of bioluminescent ATP techniques in rapid Microbiology. *J. Biolumin Chemilumin*, 4, 375-380.
- Şengül Füsün, & Türkman Ayşen. (1998). *Su ve Atıksu Analizleri*. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası.
- Tang, P., Wu, J., Liu, H., Liu, Y., & Zhou, X. (2018). Assimilable organic carbon (AOC) determination using GFP-tagged *Pseudomonas fluorescens* P-17 in water

- by flow cytometry. *PLoS ONE*, 13(6).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199193>
- Taşkin, K. (2021). *Bursa İli İçme Suyu Dağıtım Sisteminde Asimile Edilebilir Organik Karbon (AOK) Belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Bursa Uludağ Üniversitesi.
- Teksoy, A. (2021). *İçme Suyu Dağıtım Sistemlerinde Asimile Edilebilir Organik Karbon Miktarının ATP Ölçümü ile Belirlenmesi* [TUBİTAK 1002 projesi]. Bursa Uludağ Üniversitesi.
- Teksoy, A., Erol Nalbur, B., & Akal Solmaz, S. K. (2017). Bursa İlinin Su Ve Atıksu Potansiyelinin Değerlendirilmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 22(1), 115-115. <https://doi.org/10.17482/UUMFD.309452>
- Teksoy, A., & Kenan, İ. (2022). Atıksularda Asimile Edilebilir Organik Karbon Giderimi. *3 rd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences*, 1440-1445. <https://www.icaens.com/>
- Terry, L. G., & Summers, R. S. (2018). Biodegradable organic matter and rapid-rate biofilter performance: A review. *Water Research*, 128, 234-245. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.09.048>
- Thayanukul, P., Kurisu, F., Kasuga, I., & Furumai, H. (2013). Evaluation of microbial regrowth potential by assimilable organic carbon in various reclaimed water and distribution systems. *Water Research*, 47(1), 225-232. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.09.051>
- Üstün, G. E., Can, T., & Küçük, G. (2020). Binalarda Yağmur Suyu Hasadı. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 1593-1610. <https://doi.org/10.17482/uumfd.765561>
- van der Kooij, D. (1992). Assimilable organic carbon as an indicator of bacterial regrowth. *Journal / American Water Works Association*, 84(2), 57-65. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1992.tb07305.x>
- van der Kooij, D., & Hijnen, W. A. M. (1984). Substrate Utilization by an Oxalate-Consuming Spirillum Species in Relation to Its Growth in Ozonated Water. *Applied and Environmental Microbiology*, 47(3), 551-559. <https://journals.asm.org/journal/aem>
- van der Kooij, D., Oranje, J. P., & Hijnen, W. A. M. (1982). Growth of Pseudomonas aeruginosa in Tap Water in Relation to Utilization of Substrates at Concentrations of a Few Micrograms per Liter. *Applied and Environmental Microbiology*, 44(5), 1086-1095. <https://journals.asm.org/journal/aem>
- van der Kooij, D., Visser, A., & Hijnen, W. A. M. (1982). Determining the concentration of easily assimilable organic carbon in drinking water. *Journal-American Water Works Association*, 74(10), 540-545. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1982.tb05000.x>
- van der Kooij, D., Vrouwenvelder, J. S., & Veenendaal, H. R. (2003). *Elucidation and control of biofilm formation processes in water treatment and distribution using the unified biofilm approach*. <https://iwaponline.com/wst/article-pdf/47/5/83/422560/83.pdf>
- Wang, H., Masters, S., Edwards, M. A., Falkinham, J. O., & Pruden, A. (2014). Effect of disinfectant, water age, and pipe materials on bacterial and eukaryotic community structure in drinking water biofilm. *Environmental Science and Technology*, 48(3), 1426-1435. <https://doi.org/10.1021/es402636u>
- Wang, S., Li, Y., Xiao, K., & Huang, X. (2022). Fluorescence excitation-emission matrix as a novel indicator of assimilable organic carbon in wastewater:

- Implication from a coal chemical wastewater study. *Science of the Total Environment*, 804. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150144>
- Webster JJ, Hampton G.J., Wilson J.T., Ghiorse W.C., & Leach F.R. (1985). Determination of microbial cell numbers in subsurface samples. *Ground Water*, 23, 17-25.
- Weinrich, L. A., Jjemba, P. K., Giraldo, E., & LeChevallier, M. W. (2010). Implications of organic carbon in the deterioration of water quality in reclaimed water distribution systems. *Water Research*, 44(18), 5367-5375. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.06.035>
- WHO. (2019, Ocak 18). *1 in 3 people globally do not have access to safe drinking water- UNICEF, WHO*. <http://www.who.int>.
- WRI. (2019, Ağustos 6). *17 Countries, Home to One-Quarter of the World's Population, Face Extremely High Water Stress*. <http://www.wri.org>.
- Wricke, B., Korth, A., Petzoldt, H., & Krüger, M. (2002). *Change of bacterial water quality in drinking water distribution systems working with or without low chlorine residual*. <https://iwaponline.com/ws/article-pdf/2/3/275/408143/275.pdf>
- www.data.tuik.gov.tr. (2021, Aralık 13). *Water and Wastewater Statistics 2020*. TÜİK.
- Yalılı Kılıç, M., & Akal Solmaz, S. K. (2016, Ekim). Su Kaynakları Yönetiminde Sürdürülebilirlik: Bursa İli Örneği. *International Symposium of Water and Wastewater*.
- Yalılı Kılıç, M., S.K., A. S., & F., Ç. (2013, Mart). Kentsel Su Yönetiminde Su Kullanıcısının Önemi. *3. Uluslararası Bursa Su Kongresi*.
- Yenilmez, F., Keskin, F., Aksoy, A., Doğu Teknik Üniversitesi, O., Mühendisliği Bölümü, Ç., Su İşleri Genel Müdürlüğü, D., & Yazar, S. (2010). Meteorolojik Koşulların Mogan Gölü Su Kalitesine Etkileri. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(2), 33-38. www.nobel.gen.tr
- Zhang, J., Li, W., Chen, J., Wang, F., Qi, W., & Li, Y. (2019). Impact of disinfectant on bacterial antibiotic resistance transfer between biofilm and tap water in a simulated distribution network. *Environmental Pollution*, 246, 131-140. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.077>
- Zhao, X., Hu, H., Liu, S., Jiang, F., Shi, X., Li, M., & Xu, X. (2013). Improvement of the assimilable organic carbon (AOC) analytical method for reclaimed water. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 7(4), 483-491. <https://doi.org/10.1007/s11783-013-0525-0>
- Zimmermann, S. G., Wittenwiler, M., Hollender, J., Krauss, M., Ort, C., Siegrist, H., & von Gunten, U. (2011). Kinetic assessment and modeling of an ozonation step for full-scale municipal wastewater treatment: Micropollutant oxidation, by-product formation and disinfection. *Water Research*, 45(2), 605-617. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.07.080>