

**MOGAN GÖLÜ'NÜN CO₂ SALINIMI İLE İKLİM
DEĞİŞİKLİĞİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATING THE IMPACT OF CO₂ EMISSION
OF MOGAN LAKE ON CLIMATE CHANGE**

ULCA GÖKHUN

PROF. DR. SEDAT VAHDET YERLİ
Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Biyoloji Anabilim Dalı için Öngördüğü
Yüksek Lisans TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2023

ÖZET

Mogan Gölü'nün CO₂ Salınımı ile İklim Değişikliğine Etkisinin Araştırılması

Ulca GÖKHUN

Yüksek Lisans, Biyoloji Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sedat Vahdet Yerli

Ekim 2023, 43 sayfa

Antropojenik faaliyetlerin çevreye olan etkileri su ve hava kirliliği kapsamında düşünüldüğünde, ötrofikasyon ve sera gazlarının emisyonu öne çıkan çevre sorunlarından. Endüstriyel ve domestik atıksuların doğal su kaynaklarına kontrolsüz bırakılması sonucunda, alıcı su kütesinin su kalitesinde bozulmalar meydana gelir ve gölde ötrofikasyona neden olur.

Yakın zamanda yapılan çalışmalarda, her ne kadar sera gazlarının emisyonunu etkileyen en önemli faktör fosil yakıtların kullanılması olsa da ötrofik su kütlelerinin de lokal olarak atmosferdeki CO₂ konsantrasyonuna dikkate alınabilecek bir katkısı olduğu saptanmıştır. Bu tezin çalışma alanı olan Mogan Gölü, Ankara için popüler bir rekreasyon bölgesi olması nedeniyle, antropojenik faaliyetlerin etkilerinin açıkça görülebildiği bir alandır. Ekolojik özellikleri nedeniyle şehirdeki üniversite çalışmaları için de sıkça tercih edilen bir göldür. Bu tezde, daha önce yapılan araştırmalar örnek alınarak Mogan Gölü'nün, 2023 yılında, ilkbahar, yaz ve sonbahar ayları için trofik durum tespiti yapılmıştır. Önceki çalışmalara ek olarak, farklı mevsim ve ötrofikasyon derecelerinin gölün atmosfere saldığı CO₂ miktarı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: CO₂ salınımı, Mogan Gölü, Ötrofikasyon, Trofik Statü, İklim Değişikliği

ABSTRACT

Investigating the Impact of CO₂ emission of Mogan Lake on Climate Change

Ulca Gökhan

Master of Science, Department of Biology

Supervisor: Prof. Dr. Sedat Vahdet Yerli

October 2023, 43 pages

When the effect of anthropogenic applications is in consideration, eutrophication and the emission of greenhouse gases are highly distinctive environmental issues that stand out. The water quality of a receiving body is deteriorated when industrial and domestic wastewaters are released to natural water bodies uncontrolled, and this causes eutrophication of natural waters.

Even though, the usage of fossil fuels is the main cause of greenhouse gas emissions, some recent studies have revealed that eutrophic water bodies have a non-negligible contribution to the CO₂ concentration in the atmosphere.

The research area in this thesis, Mogan Lake, due to its ecological features, is a highly preferred research area among the universities in the city, besides being a very popular recreation area in Ankara.

In the scope of this thesis, in the light of all the previous studies, the trophic status of Mogan Lake for spring, summer and autumn of year 2023 has been determined. In addition to the prior studies, the effect of seasonal changes and different eutrophication levels on the amount of CO₂ emitted have been investigated.

Keywords: CO₂ emission, Mogan Lake, Eutrophication, Trophic Status, Climate Change

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim süresince engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, sahip olduğu eşsiz bilgisiyle beni yönlendiren ve desteğini benden esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Sedat Yerli'ye,

Lisansüstü öğrenciliğim boyunca ve tez yazım sürecinde, bilgisini ve desteğini benimle paylaşan, her anlamda desteğini hissettiğim değerli hocam Dr. Fatih Mangıt'a,

Araştırmamda kullandığım ölçüm araçları ile bana destek sağlayan Sensgreen firmasına,

Hayatım boyunca her koşulda bana destek veren ve her zaman yanımda olan, bu günlere gelmemi sağlayan canım aileme,

Sonsuz Teşekkürler...

Ulca GÖKHUN
Ekim 2023, Ankara

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ	1
2. MOGAN GÖLÜ LİTERATÜR ÖZETİ.....	7
2.1. Mogan Gölü Hakkında Genel Bilgiler	7
2.2. Arazi Çalışmaları.....	11
3. MATERYAL METOT.....	13
3.1. Suyun Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Tespiti.....	13
3.2. Trofik statünün Belirlenmesi.....	15
3.3. Karbondioksit Ölçümleri.....	16
3.3.1. Karbondioksit Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	19
4. BULGULAR.....	20
4.1. Suyun Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Tespiti.....	20
4.1.1. Secchi Disk Derinliği	20
4.1.2. Sıcaklık.....	21
4.1.3. pH.....	21
4.1.4. İletkenlik.....	22
4.1.5. Bulanıklık.....	22
4.1.6. Toplam Çözünmüş Madde	23
4.1.7. Toplam Fosfor.....	23

4.1.8. Toplam Azot	24
4.1.9. Klorofil-a	24
4.2. Trofik Statü Tespiti.....	24
4.3. Karbondioksit Ölçüm Sonuçları	25
4.3.1. Karbondioksit Değişiminin Saptanması	25
4.3.2. Ortalama Karbondioksit Tespiti.....	26
4.3.3. Karbondioksit Konsantrasyonu ve Ötrofikasyon İlişkisinin Tespiti.....	27
5. SONUÇ ve TARTIŞMA	31
6. KAYNAKLAR.....	37
EK -1 Mevsimsel karbondioksit değerlerinin logaritmik artış grafikleri	40
Ek-1a. İlkbahar mevsimi CO ₂ artış grafiği	40
Ek-1b. Yaz mevsimi CO ₂ artış grafiği	41
Ek-1c. Sonbahar mevsimi CO ₂ artış grafiği	42
ÖZGEÇMİŞ	43

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 İstasyonların konumu ve ortalama derinlik bilgileri	12
Çizelge 3.1. Trofik Statü İndeks (TSI) Formülleri.....	15
Çizelge 3.2. Sensnode CO ₂ TM Özellikleri.....	16
Çizelge 4.1. Carlson TSI değerleri ve Trofik Statü çizelgesi.....	25
Çizelge 4.2. İstasyonların mevsimsel Trofik Statü Tanımlamaları	25
Çizelge 4.3. Mevsimsel ortalama CO ₂ değerleri	26
Çizelge 4.4. Logaritması alınmış karbondioksit değerleri varyans analizi sonuçları.....	27
Çizelge 4.5. Mevsimsel farklılık	28
Çizelge 4.6. İstasyon bazında farklılık	28

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Mogan Gölü istasyon seçimleri	12
Şekil 3.1. CO ₂ ölçüm düzeneği, İstasyon 4 açığı.....	17
Şekil 3.3. CO ₂ ölçüm düzeneği, İstasyon 2	18
Şekil 4.1. Mevsimlere göre Secchi Disk derinliği değişimi	20
Şekil 4.2. Mevsimlere göre su sıcaklık değişimi	21
Şekil 4.3. Mevsimlere göre pH değişimi	21
Şekil 4.4. Mevsimlere göre iletkenlik değişimi	22
Şekil 4.5. Mevsimlere göre bulanıklık değişimi	22
Şekil 4.6. Mevsimlere göre toplam çözünmüş madde değişimi	23
Şekil 4.7. Mevsimlere göre toplam fosfor değişimi.....	23
Şekil 4.8. Mevsimlere göre toplam azot değişimi	24
Şekil 4.9. Mevsimsel ortalama CO ₂ değişim grafiği	27
Şekil 4.10. Karbondioksit salınımının mevsimsel farklılık grafiği.....	29
Şekil 4.11. Karbondioksit salınımının istasyon bazında farklılık grafiği	30
Şekil 4.12. Mevsim x İstasyon bazında karbondioksit salınım farklılıkları	31

SİMGELER VE KISALTMALAR

cm	santimetre
m	metre
μm	mikrometre
m^3	metreküp
km^2	kilometrekare
ha	hektar
mg	miligram
mg/L	miligram/litre
$\mu\text{g/L}$	mikrogram/litre
mg/m^3	miligram/metreküp
$\mu\text{s/cm}$	mikrosiemens/santimetre
NTU	Nefelometre birimi
$^{\circ}\text{C}$	Santigrad derece
%	yüzde
TP	Toplam Fosfor
TN	Toplam Azot
SD	Secchi derinliği
chl - a	Klorofil – a
TSI	Trofik Statü İndeksi
EC	Elektriksel İletkenlik
TDS	Toplam Çözünmüş Madde
CO_2	Karbondioksit
O_2	Oksijen
O_3	Ozon
CH_4	Metan
N_2O	Azot Oksit
CFC11-CFC12	Kloroflorometanlar

TSE	Türk Standartları Enstitüsü
ppm	parts per million
NDIR	Non-dispersive Infra-red
ICP -MS	Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (İndüktif olarak eşleşmiş plazma kütle spektrometri)
HPLC	High-performance liquid chromatographic (Yüksek performanslı sıvı kromotografik)
SÇD	Su Çerçeve Direktifi

1. GİRİŞ

Küresel iklim Değişikliği, çağımızın en büyük çevre sorunlarından biri haline gelmiştir. Dünyada 1800'li yıllardan beri hızla gelişen sanayileşme ile antropojenik faaliyetler küresel iklim değişikliğinin temel sebeplerinden olmuştur. Birçok sektörde, kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtların kullanılması sonucu ortaya çıkan sera gazları, güneş ısını atmosferde hapsederek, Dünya'nın sıcaklığının artmasına neden olmuştur. Bunun sonucunda, yeryüzünde yüksek sıcaklıklar, aşırı meteorolojik olaylar, okyanus sıcaklıklarında artış ve tür kaybı gibi pek çok farklı sorun ortaya çıkmıştır (UN, 2022).

Su buharı (H₂O), karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), azot oksit (N₂O), kloroflorometanlar (CFC11 ve CFC12) ve ozon (O₃) atmosferde bulunan sera gazlarıdır. (Mitchell, 1989) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 'nin 2013 yılında yayınladığı raporda, karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve azot oksit (N₂O), sera etkisine en çok neden olan ve küresel iklim değişikliğine en önemli etkiyi yaratan sera gazları olarak belirlenmiştir. Yine bu rapor ile antropojenik faaliyetlerin iklim sistemleri üzerindeki etkisi kesinleşmiş ve karbondioksit en çok salınan sera gazı olarak tespit edilmiştir. Yüz yıllık bir zaman aralığında karbondioksitten 34 kat daha kalıcı olan metan ikinci en çok salınan sera gazı olarak belirlenmiştir. Karbondioksitten 298 kat daha kalıcı olan azot oksit ise salınım miktarı diğerlerine göre daha az oranda olduğu için geri planda kalmış olsa da son yıllarda çeşitli çalışmalara dahil edilmiştir (IPCC, 2021).

Konu üzerine yapılan literatür araştırması, ülkemizde sera gazı emisyonlarının genellikle, tarımsal faaliyetler, ulaşım faaliyetleri ve katı atık işleme tesisleri ile atık su arıtım tesisleri kapsamında ele alındığını göstermiştir.

Arı ve ark. (2009), Şanlıurfa'da vahşi katı atık depolama alanından salınan sera gazı miktarı ve meteorolojik veriler takip edilmiştir. Kapalı oda metodu kullanılan çalışmada, çöpün içerisine batırılan silindir odacıklardan şırınga ile çekilen numune, gas kromatografi enstrümanları ile analiz edilmiştir. Üç ay süren çalışmada, karbondioksit, metan ve azot oksit miktarlarının ölçümü yapılmıştır; aylık ve mevsimsel değişimlerin

saptanabilmesi için daha uzun süreli örnekleme ve analiz çalışmalarının yürütülmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Gülhan ve ark. (2018), ileri biyolojik atık su arıtma tesislerinin sera gazı salınımına etkisini modelledikleri çalışmalarında, evsel atık su arıtımında sera gazı emisyonunu etkileyen faktörleri araştırmışlardır. Biyolojik arıtım sırasında mikroorganizma aktiviteleri sonucu ortaya çıkan karbondioksit biyojenik kökenli olması nedeniyle net emisyon hesaplamalarına dahil edilmezken, karbondioksit emisyonunun en temel kaynağının evsel atık su içerisindeki organik maddenin giderildiği aktif çamur havuzları olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, çamur yaşının nitrifikasyonu tamamlayacak şekilde, en az 9 gün seçilmesinin, azot oksit salınımını doğrudan olarak azalttığı sonucuna varmışlardır. Çalışma kapsamında, sera gazı emisyonuna atık sektörünün etkisinin, küresel antropojenik etkinin yaklaşık %3'üne ve atık su arıtımın etkisinin atık sektörünün %20'sine denk geldiği vurgulanmıştır.

Sera gazlarının salınımına en önemli etki fosil yakıtların kullanılmasıdır ve ulaştırma sektörü bu etkinin büyük bir kısmını kapsamaktadır. Motorlu taşıtların kullanımının artması ile kentsel hava kirliliği de ciddi oranla artmıştır ve yoğun trafik karbondioksit salınımı ile doğrudan olarak ilişkilendirilmektedir (Bıyık ve ark., 2018). Bıyık ve ark. (2018), 1990-2016 yılları arasında ülkemizin ve G20 ülkelerinin ulaşım kaynaklı karbon ayak izi üzerine yaptıkları araştırmada 26 yıllık değişimi de incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda, dünya genelinde birincil enerji kaynaklarının %81'i fosil kaynaklı olduğu ve enerji üretiminde fosil yakıtlara bağımlılığın sera gazlarının emisyonunu yıllar boyunca devamlı olarak artırdığı saptanmıştır. Araştırma süresince, emisyon artışları, toplam yakıt tüketiminin ve araç sayının artmasına bağlanırken, yeni teknolojiler ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artacağına, ancak daha az oranda olsa da fosil yakıtların yine birincil enerji kaynağı olmaya devam edeceğine dikkat çekilmiştir.

Göller, hidrolojik havzaların en alçak noktasında buldukları için, su toplama havzasındaki insan faaliyetlerinin etkilerini oldukça açık bir şekilde yansıtmaktadır. Bu insan aktiviteleri bilinçli olarak ve kontrollü bir şekilde gerçekleştirilirse, tabiata ve insan popülasyonunun refahına büyük katkı sağlar; ancak bu aktiviteler sadece kaynakların sömürülmesi amacıyla, kontrolsüz ve aşırı uygulamalarla yürütülürse hem insanlar için

hem de diğ er canlılar için olumsuz sonuçlar doğ urur, örneğ in; ötrofikasyon, alg patlamaları ve toplu balık ölümleri (Moss, 2007).

Antropojenik faaliyetlerin, sucul ekosistemler üzerindeki en önemli etkilerinden biri de ötrofikasyondur. Atık suların ve tarımsal kirleticilerin doğ al ekosistemlere karış ması, sucul ortamlarda çözünmüş organik maddenin artmasına neden olur ve fitoplanktonik canlıların üremesi için uygun ortam oluşturur. Sucul ekosistemlerde fosfor ve azot içeriğ inin artması ile fitoplankton konsantrasyonu artar ve özellikle durgun sularda çözünmüş oksijenin ve minerallerin tükenmesine neden olarak ekosistemdeki diğ er canlıları tehdit eder. Ayrıca, ışık geçirgenliğ ini azaltarak, göllerin bataklıklara dönüşmesine neden olur (Lund, 1967).

Ötrofikasyon, özellikle durgun su kütleleri için oldukça ciddi bir çevresel sorundur (Qin ve ark., 2007). Göllerde ötrofikasyonu önlemek, su kalitesinin takibini sağlamak ve iyileştirmek amacı ile, tüm dünyada çeşitli göl restorasyon stratejileri uygulanmaktadır. Bu kapsamda, Avrupa Birliğ i Komisyonu, Ülkemizde de kabul gören “Su Çerçeve Direktifi”ni yayınlamıştır. Yıllar boyunca, değ iş en koşullar çerçevesinde sürekli güncellenen SÇD, yüzey suları için ekolojik ve kimyasal kalite durumunun “iyi” olmasını amaçlamaktadır. SÇD, yerel standartları belirlemek için standart süreçler tanımlamıştır ve bu tanımlara göre, bir yüzey su kütesinin “iyi” olarak tanımlanabilmesi için, antropojenik etkinin biyolojik kommünite üzerindeki etkisinin beklenen en minimum düzeyde olması gerekmektedir. Nehirler, göller, geçiş suları ve yapay/modifiye edilmiş su kütleleri için, su kalitesi değerlendirme unsurları ř u şekilde sıralanabilir: biyolojik unsurlar (örneğ in; flora ve fauna kompozisyonu ve bolluğ u), hidromorfolojik unsurlar (örneğ in; debi miktarı ve dinamikleri, derinlik ve alan) ve fiziko-kimyasal unsurlar (örneğ in, su sıcaklığ ı, çözünmüş oksijen miktarı, salinite, besin maddeleri gibi). Her unsur için, iyi, orta, zayıf ve kötü statü tanımları belirlenmiştir ve yerel otoriteler, sorumlu oldukları su kütlelerinin karşılaşt ığı baskılayıcı durumları en iyi şekilde analiz ederek en uygun unsurlar için standartlar belirlemelidir. Belirlenen bu standartlara göre su kütleleri sınıflandırılmalı ve en uygun iyileştirme stratejilerinin uygulanması gerekmektedir (Kallis ve ark., 2001).

Avrupa Birliği Komisyonu'na göre, gelecek yıllarda iklim değişikliği, su kalite yönetim çalışmalarını için başlı başına bir sorun haline gelecektir. Komisyon, düşük yağış oranları ve özellikle yaz aylarında görülen yüksek sıcaklıkların nadir su kaynakları üzerinde ciddi stres oluşturacağını ve bu nedenle de ekolojik dengenin korunması için gerek su tahminlerinin, su verimi bakımından büyük önem taşıdığını vurgulamıştır. Ayrıca Komisyon, daha fazla yağış ve yüksek sel riskinin giderek daha sık görülen hava olayları haline gelmesine ve taşkın yataklarının restorasyonunun sel riskini azaltmakta önemli bir uygulama olduğuna dikkat çekmiştir (SD, 2014).

Gllerin, trofik durum tespitinde en çok kullanılan metot Carlson'ın geliştirdiği Trofik Statü Indeksi (TSI) metodudur.

Tüm trofik sınıflandırma yöntemleri, trofik sürecin ayrımlarına dayansa da geleneksel trofik statü tespit yöntemleri bu süreci üç sınıfta incelemektedir; oligotrofik, mezotrofik ve ötrofik. Carlson yaklaşımında, bu ayrımların sınırlarının çok keskin olmadığına ve trofik sınıflar arasındaki geçiş bölgelerinin ve hızının her gl için aynı olmayacağına dikkat çekmektedir. Carlson'a göre, pek çok farklı parametrenin değerlendirildiği trofik sınıflandırma çalışmalarında, bazı gller belli kriterler için oligotrofik olarak sınıflandırılırken başka kriterler için mezotrofik sınırlar içerisinde kalabilir. Bu nedenle Carlson, multi-parametre indekslerinin ifadelerinin korunduğu ancak tekli parametre indeks kolaylığının da sağlandığı bir trofik statü tespit yöntemi geliştirmiştir (Carlson1977).

Her ne kadar sera gazlarının emisyonunu etkileyen en önemli faktör fosil yakıtların kullanılması olsa da yakın zamanda yapılan çalışmalarda ötrofik su kütlelerinin de atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonuna dikkate değer bir etkisi olduğu saptanmıştır.

Balmer ve ark. (2011), az doygun ötrofik göllerin karbondioksit yutağı olduğunu araştırdıkları çalışmalarında, sucul ekosistemlerin yaklaşık %90'ının atmosfere karbondioksit salınımı yaptığına ve bu nedenle bölgesel ve küresel olarak önemli karbondioksit yayıcıları olduklarına değinmişlerdir. Iowa eyaletinde, 131 gölü dahil ettikleri çalışmalarında, yaz aylarında artan fitoplankton üretkenliği nedeniyle çoğu

bölgelerde ötrofik göllerin karbondioksit tutacağını öne sürmüş olsalar da bazı göllerde yüksek klorofil-a konsantrasyonlarına rağmen, karbondioksit bakımından aşırı doygunluk tespit edildiğini saptamışlardır. Bunun nedenini de ötrofik göllerdeki yüksek solunum oranlarına bağlamışlardır.

Davidson ve ark. (2015), sığ göllerde ötrofikasyonun sera gazlarının emisyonu olan etkisini araştırdıkları çalışmalarında, doğal sistemlerde sera gazı emisyonlarının yüksek oranda, mevsimsel sıcaklık değişiklikleri ve mevsimsel emisyon değişimleri arasındaki korelasyona bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Mesocosm sistemlerinde yaptıkları deneyler sonucu, sığ göller için sera gazlarının emisyon değişimine, dolaylı yoldan sıcaklık ile ilişkili olan besin miktarının ve birincil üreticilerin yoğunluğunun daha çok etkisi olduğunu ortaya koymuşlardır.

Delsontro ve ark. (2018), göl büyüklüğü ve üretkenliğinin sera gazlarının salınımına olan etkisini küresel ölçekte ele aldıkları çalışmalarında, ötrofik göllerden salınan sera gazlarının atmosferik etkisinin, fosil yakıtlardan salınan karbondioksitin yaklaşık %20'sine denk olduğu sonucuna varmışlar ve bu emisyonların lentik ekosistemlerde artan ötrofikasyon ile artmaya devam edeceğini öne sürmüşlerdir.

Beaulieu ve ark. (2019), göl ve su birikintilerinin sera gazlarının emisyonuna etkisini araştırdıkları çalışmalarında, ötrofikasyonun özellikle atmosferde daha kalıcı olan metan gazı salınımı üzerindeki etkilerine odaklanmışlardır. Bu kapsamda uyguladıkları, tatlı su ötrofikasyonunun gelecekteki besin yükleme senaryoları altında simülasyonları ile, önümüzdeki yüzyılda metan gazı emisyonlarının %30-90 oranında artacağını öngörmüşlerdir. Metan emisyonundaki bu artışın atmosferik etkisinin, fosil yakıtların kullanımı nedeniyle salınan karbondioksit miktarının yaklaşık %18-30'una denk geldiğini belirtmişlerdir.

Sun ve ark. (2021), sığ bir göl olan Ulansuhai gölünde, ötrofikasyon derecesinin karbondioksit ve metan emisyonları arasındaki ilişkisini araştırmak için mevsimsel olarak karbondioksit ve metan emisyon değişimini ölçmüşlerdir. Araştırmada, gölün 7 farklı noktası için trofik statü belirlendikten sonra bu bölgelerdeki sera gazlarının emisyon miktarları ölçülmüştür. Sonuçlarda, mevsimsel ve mekânsal olarak karbondioksit

emisyonlarında belirgin değişiklikler tespit edilmiştir. Gölün daha ötrofik bölgelerinde yaz aylarında yoğun birincil üretim olması nedeniyle, gölün karbondioksit yutağı olarak işlev gördüğü, kış aylarında ise gölden salınan karbondioksitin aylık emisyonların %75,8'ini oluşturduğu tespit edilmiş ve bu verinin yıllık karbon bütçesi içerisinde değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca, makalede birçok çalışmanın yaz aylarında yapılması ve dolayısıyla yüksek üretim nedeniyle karbondioksit emisyon değerlerinin düşük olmasına dikkat çekilmiştir.

Li ve ark. (2021), tatlı su ötrofikasyonunun sera gazlarının salınımı üzerindeki etkisini değerlendirdikleri derleme makalelerinde; nehir, göl ve baraj gölü gibi tatlısu su kütlelerinin karbondioksit salınımının, fosil yakıtlarının tüketilmesi sonucu salınan yıllık karbondioksit miktarının yaklaşık %31'ine denk geldiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, iklim değişikliği ve ötrofikasyon arasındaki ilişkinin karmaşıklığına değinilir iken, bu iki çevresel sorunu döngüsel mekanizmalarla ilişkilendirilmiştir. Makalede, sıcaklık artışı ve ötrofikasyon arasındaki ilişkinin, metan emisyonlarını desteklediği vurgulanmıştır. Bu ilişkinin metan tüketiminin, ötrofikasyon ile tetiklenen metan üretimine kıyasla sıcaklık değişimine daha duyarlı olması ve ötrofik tatlısularda az miktarda bulunan makrofitlerin neden olduğu yüksek metan kabarcığı akışı ile açıklanabileceği öne sürülmüştür. Ayrıca, iklim değişikliği ve ötrofikasyon ile artış gösteren fitoplankton üreme sürecinde salınan dimetil sülfid'in (DMS), güneş radyasyonunu ciddi oranda azaltırken sera gazlarının emisyonunu kısmi olarak telafi ettiğini vurgulamıştır.

Sonuç olarak, günümüzde iklim değişikliği küresel ölçekte en ciddi çevre sorunu olarak ele alınmaktadır. Benzer şekilde, ötrofikasyon ve alg patlamaları, tüm dünyada gölleri en çok etkileyen çevresel bir sorundur. Bu bağlamda düşünöldüğünde, ötrofik göllerin karbondioksit emisyon yolu ile iklim değişikliğine etkisi güncel bir araştırma konusu durumundadır.

Bu kapsam çerçevesinde, Ankara'ya yakın konumu ve çevresindeki rekreasyon alanlarının yoğunluğu nedeniyle antropojenik faaliyetlerden oldukça fazla etkilenen, ötrofik sığ bir göl olan Mogan Gölü (Ankara), bu tez kapsamında çalışma alanı olarak seçilmiştir. Tez çalışmasında, Mogan Gölü'nün trofik statüsü belirlenmiş ve farklı ötrofikasyon derecelerinin mevsimsel olarak karbondioksit salınımına etkisi

araştırılmıştır. Bu sayede küresel iklim değişikliği tartışmalarına, lokal göllerden salınan karbondioksit miktarının etkisinin de dahil edilmesi ve mevcut durum analiz ile gelecekte ortaya çıkabilecek sorunlara karşı lokal ve küresel önlem stratejileri kapsamında dikkate alınması gerekliliğinin ortaya konulması hedeflenmiştir.

2. MOGAN GÖLÜ LİTERATÜR ÖZETİ

2.1.Mogan Gölü Hakkında Genel Bilgiler

Mogan Gölü, Ankara'nın 20 km güneyinde olan (39° 45' 45.6012" N, 32° 47' 32.4708" E), ilk oluşumu tektonik aktiviteye dayanan, sığ bir tatlı su gölüdür. Mogan Gölü Havzası'nda, İç Anadolu Bölgesi'nin tipik iklim şartları hakimdir. Yağış rejimi bakımından yarı kurak iklim özellikleri gösteren havzada, yağış miktarı kurak dönemlerde 350 mm'den az, ıslak dönemlerde 500 mm'den çok olmakla birlikte, ortalama yağış miktarı 408 mm'dir (Beklioğlu ve ark., 2017; Kapan, 2011). Özellikle yaz aylarında, buharlaşmanın yağıştan ciddi oranda daha fazla olması dönemsel kuraklıklara neden olmaktadır (Beklioğlu ve ark., 2017).

Gölün ortalama derinliği 2-2,5m arasında değişkenlik gösterirken, en derin noktada derinlik 3-4 m'ye ulaşmaktadır (Manav ve ark., 2008). Mogan Gölü, 6,35 km²'lik alanıyla, 925 km² yağış alma alanına sahiptir (Manav ve ark., 2008; Kapan, 2011). Gölü başlıca besleyen dereler Gölova, Yavrucak, Sukesen, Başpınar ve Gölcük dereleri olmakla birlikte toplamda on altı dere Mogan Gölü'ne su taşımaktadır. Gölün en güneyinde, Gölcük ve Çökek bataklıklarını da kapsayan 750ha'lık bataklık ve sulakalan bulunmaktadır (Taşeli, 2006). Mogan Gölü ve Eymir Gölü hidrolojik olarak birbirlerine bağlıdır ve aralarındaki kot farkı nedeniyle yüzey suyunun akış yönü, güneyden kuzeye doğru, yani Mogan Gölü'nden Eymir Gölü'ne doğrudur (Karakoç ve ark., 2003; Mangıt, 2009).

Mogan Gölü, etrafında pek çok park ve sosyal tesis bulunması sebebiyle Ankara için popüler bir rekreasyon bölgesi olmasının yanı sıra, göl ekolojik anlamda da büyük öneme sahiptir. Gölün zengin flora ve faunası, birçok kuş türü için temel bir üreme habitatı olmasına ve özellikle ilkbahar aylarında farklı su kuşlarının göç yolu üzerinde durak haline gelmesine olanak sağlamıştır (Taşeli, 2006). Gölün kıyı kısımlarında sazlıklar yaygındır. Özellikle yaz aylarında göl yüzeyinin %70-80'ni tamamen makrofitlerle kaplanmaktadır (Gül ve ark., 2017). Bazı mevsimlerde makrofitlerin çökmesi nedeniyle, gölün dip yapısında da bozulmalar meydana gelmektedir ve özellikle balık

popülasyonlarının bu durumdan ciddi anlamda etkilendiği tespit edilmiştir (Gül ve ark., 2017). Ayrıca, Mogan Gölü ve çevresi, 26'dan fazla memeli türüne ve 231 kuş türüne ev sahipliği yapmaktadır (Beklioğlu ve ark., 2017). Mogan Gölü, Ankara gibi kozmopolit bir şehrin içerisinde olması nedeniyle, yoğun olarak kentsel ve endüstriyel kirleticilerin baskısı altındadır ve bu nedenle de çeşitli kirleticilerin özellikle balık türleri üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bir alan haline gelmiştir (Gül ve ark., 2017, Uğurlu ve ark., 2019). 1990 yılında, Mogan Gölü Havzası'nın 245 km²'lik bölümü Bakanlar Kurulu tarafından "Gölbaşı Özel Koruma Alanı" olarak belirlenmiş ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından "Önemli Kuş Bölgesi" ilan edilmiştir (Taşeli, 2006; Beklioğlu ve ark., 2017).

Mogan Gölü, biyolojik ve ekolojik önemine rağmen, kontrolsüz şehirleşme nedeniyle ciddi bir kirlilik ve bozulma tehdidi altındadır. Bunun yanı sıra, denetilmeyen nokta ya da yayılı kaynaklı kirleticilerin göle ulaşması, yeterli arıtım işlemlerinden geçmemiş atık suyun verimsiz kanalizasyon sistemleri ile göle bırakılması, gölü besleyen derelerden gelen sediman taşınımı, kontrolsüz toprak aşınımı, göle uygun olmayan sel kontrol stratejileri ve havzadaki doğal sulak alanların yıkımı gibi sebepler de Mogan Gölü'nün ekolojik durumunun bozulmasına katkı sağlayan durumlardır (Taşeli, 2006).

Mogan Gölü biyolojik ve ekolojik özellikleri nedeniyle pek çok araştırma için çalışma alanı olmuştur.

Burnak ve ark. (2000), Mart 1997-Nisan 1998 arasında yürüttükleri çalışmalarında, Mogan Gölü'nün fiziko-kimyasal özelliklerinin ve göldeki zooplankton türlerinin sualtı makrofitleri ve fitoplanktonla ilişkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak, önceki çalışmalarda ötrofik ya da hiperötrofik olarak sınıflandırılan Mogan Gölü'nün, düşük toplam fosfor ve klorofil-a konsantrasyonları ve yüksek Secchi derinliği bulguları ışığında, yoğun sualtı makrofitlerinin baskın olması ile berrak su özelliği gösterdiği saptanmıştır. Sualtı bitkilerinin dominant olduğu sığ göllerde, fitoplankton biyokütlesinin baskılandığına dikkat çeken Burnak ve ark., sualtı makrofitlerinin ve epifitlerin fazla besin tüketmesinin fitoplankton için sınırlayıcı bir faktör olduğunu vurgulamışlardır.

Topçu (2006), Mogan Gölü'nde litorel sedimentte fosforun mevsimsel ve konumsal değişiminin göle fosfor salınım potansiyelini araştırdığı çalışmasında; en yüksek salınım değerlerini Kasım ayında gölün kuzeyinde, Belediye Parkı yakınlarındaki istasyonda, en düşük salınım değerlerini ise haziran ayında, Gazeteciler Cemiyeti Sosyal Tesislerinin 400 m kuzeyindeki istasyonda tespit etmiştir. Temmuz 2004- Haziran 2005 arasında

yapılan çalışmada gölün trofik statüsü ötrofik olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, Mogan Gölü'nde sedimentten göle salınan fosfor değerlerinin, gölün kirlilik seviyesine etkisinin çok düşük olduğu sayısal olarak ortaya konmuştur. Topçu, bunun sebebini, sedimentin yüksek demir (Fe) içeriğine sahip olmasına, kilce zengin olmasına ve istasyonlardaki makrofit yoğunluğuna bağlamıştır. Sonuç olarak, Mogan Gölü'nün tamamı için, sedimentten salınan fosfor miktarının gölün trofik statüsüne yüksek bir etkisinin olmadığı ve gölün trofik statüsünü korumak için öncelikli olarak göle dışardan gelen fosfor yükünün azaltılması gerektiği vurgulanmıştır.

Manav ve ark. (2008), Aralık 2001-Ocak 2003 boyunca topladıkları veriler ışığında Mogan Gölü'nün trofik durum tespitini yaptıkları çalışmalarında, pek çok su kalite parametresi ile gölde baskın plankton ve zoobentoz taksonlarının analizlerini çalışmışlardır. Bu çalışmada, önceki çalışmalardaki sonuçlar ile tutarlı olarak, Mogan Gölü'nün trofik statüsü mezotrofik/ötrofik olarak tespit edilmiştir.

Mangıt ve ark. (2009), Mogan Gölü'nde trofik durumun değişimini ve bunun zooplankton ve zoobentoz üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmalarında, Fosforun Mogan Gölü için temel sınırlayıcı besin olduğuna ve trofik statü tespitinde Carlson İndeks metodunun, Türkiye göllerinde trofik durum kıyaslaması yapmak için kullanılabileceğini vurgulamıştır. Ötrofik göllerde baskın türlerin çalışması ve türler arası ilişkilerin, göllerdeki indikatör türün tespiti ile daha detaylı çalışması gerektiğini öne sürmüşlerdir.

Batu ve ark. (2012), Mayıs 2007- Mayıs 2008 arasında, Mogan Gölü, Beytepe Göleti ve Delice Nehri'nin (Kızılırmak) dahil olduğu üç farklı habitatta mavi-yeşil alg (Cyanobacteria) türlerini tespit etmeyi ve taksonomik açıdan değerlendirmeyi amaçladıkları çalışmada, Mogan Gölü'nde toplam 18 tür tanımlamışlardır.

Yerli ve ark. (2012), Ekim 2005- Ekim 2006 arasında Mogan Gölü'nde fitoplankton komünitesini, klorofil-a konsantrasyonu ve fiziko-kimyasal özellikleri çalıştıkları araştırmalarında elde ettikleri sonuçları alanda yapılan önceki çalışmalarla kıyaslamışlardır. Bu çalışmada, yaz ve sonbahar aylarında saptanan düşük besin konsantrasyonlarının ilkbaharda ve sonbaharda artış gösteren fitoplankton büyümesi ve göldeki besinin büyük bir kısmının alg patlaması tarafından tüketilmesi ile açıklanabileceğini vurgulamışlardır. Ayrıca, önceki çalışmalardaki sonuçlarla kıyaslandığında, Mogan Gölü'nün, domestik atık suların etkisiyle azot ve fosfor

bileşenlerindeki kademeli artışın devam etmesi sonucu hala ötrofik durumunu sürdürdüğü tespit edilmiştir.

Şanal ve ark. (2015), Mogan Gölü'nün sucul makrofitlere göre ekolojik durum tespitini yaptıkları araştırmalarında, Temmuz 2003 ve Temmuz 2013 aylarında baskın makrofit türlerini ve yoğunluklarını çalışmışlardır. Çalışma sonucunda, Mogan Gölü'nde özellikle yaz aylarında sualtı makrofitlerinin yoğun olduğuna ve gölün ekolojik durumunun ortadan kötüye doğru değiştiğini saptamışlardır. Çalışmadaki bulgular ışığında, ötrofik sığ bir göl olan Mogan Gölü'nün ekolojik kalite tespit çalışmalarında sucul makrofitlerin takibinin önemli olduğuna dikkat çekmişlerdir.

Beklioğlu ve ark. (2016), birbirine bağlı olan Mogan ve Eymir Göllerinin, 20 yıllık izleme verilerinin analizi ile göllere deşarj edilen atık su ve çeşitli restorasyon çalışmalarının etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, 90'lı yıllarda uygulanan kanalizasyon deşarj yönlendirme uygulamalarının, göllerdeki toplam fosfor ve azot bileşenlerinin yaklaşık %50 oranında azalmasına neden olduğu, ancak su berraklığı açısından herhangi bir iyileşmeye yol açmadığı saptanmıştır. Düşük su seviyeleri, Mogan Gölü'nde makrofitlerin yoğunlaşmasına ve göldeki bulanıklığın azalmasına neden olmuştur. Bu durum, göle daha çok ışık ulaşmasına olanak sağlayarak litoral habitata geliştirmiştir.

Coppens ve ark. (2016), Mogan ve Eymir göllerinde, değişen su seviyelerinin mevsimsel fosfor ve azot birikimlerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, Türkiye için iklim değişikliği senaryoları düşünüldüğünde su seviyesi ve besin miktarı dengesi açısından, yüksek buharlaşmanın ve düşük yağışın, sığ göllerin su kalitesini ciddi oranda etkileyeceğini vurgulamışlardır. Yarı-kurak iklim koşullarında bulunan sığ göllerde, dış kaynaklı girdi düşük olsa bile, buharlaşma nedeniyle yüksek besin konsantrasyonlarının görülebileceğine ve uzun kuraklık dönemlerinin ötrofikasyonu destekleyeceğine dikkat çekmişlerdir.

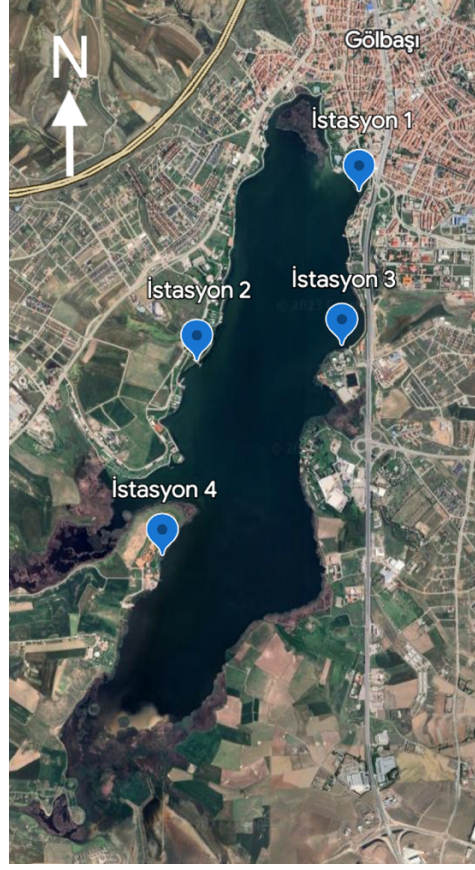
Velioğlu ve ark. (2017), Mogan Gölü'nde Mayıs 2010-Nisan 2011 boyunca, zooplanktonik organizmaların mevsimsel ve aylık değişimlerini araştırdıkları çalışmalarında, en yüksek ortalama bolluk değerlerini sırasıyla, yaz, sonbahar, ilkbahar ve kış mevsimlerinde tespit etmişlerdir. Ayrıca bu çalışmada gölde yapılan rehabilitasyon uygulamalarının, zooplankton topluluk yapısı üzerindeki etkileri ve toplulukların istasyonlara ve mevsimlere göre değişimleri de araştırılmıştır.

Uğurlu ve ark. (2019), Mogan ve Eymir Göllerinin Ankara kenti için ekosistem hizmetleri bakımından önemini analiz ettikleri çalışmalarında, gölleri kentin temel sulak alan ekosistemleri olarak belirlemişlerdir.

Binici ve ark. (2021), Mogan Gölü'nün rekreatif değerinin artırılması amacıyla uygulanan bir göl yönetim stratejisi olan sediman tarama işlemini, sedimandaki ağır metal konsantrasyonları açısından değerlendirmişlerdir. Çalışma, Mayıs 2020 ve Kasım 2020 arasında, maden tesisleri ile domestik kaynaklı atık suların ve tarımsal faaliyetler ile domestik kaynaklı atık suların ulaştığı iki ayrı istasyonda gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda, Mogan Gölü'nde yapılan sediman tarama işleminin, havzadaki antropojenik kirleticilerin göle ulaşması engellenmediği sürece, etkili ve sürdürülebilir bir uygulama olmadığı saptanmıştır.

2.2. Arazi Çalışmaları

İstasyonlar daha önce yapılan çalışmalar örnek alınarak, gölü en iyi şekilde kapsayacak ve temsil edecek şekilde seçilmiştir. Ayrıca, istasyon seçiminde karbondioksit sensörü (Sensgreen Sensnode CO₂TM) ve alıcısı arasında 1 km'den fazla mesafe olmaması dikkate alınmıştır. Seçilen istasyonlar, Şekil 2.1'de gösterilmiştir ve Çizelge 2.1'de istasyonların konum ve ortalama derinlik bilgileri verilmiştir. Her bir istasyonda, farklı mevsimleri temsil edecek şekilde, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmalarında, suyun fiziko-kimyasal ve kimyasal özellikleri tespit edilmiş, karbondioksit ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerin yanı sıra, arazi çalışmalarında hava durumu, hava sıcaklığı, rüzgar, su rengi, suyun kokusu ve gölün ve istasyonların genel durumu not edilmiştir.



Şekil 2.1. Mogan Gölü istasyon seçimleri

Çizelge 2.1 İstasyonların konumu ve ortalama derinlik bilgileri

İstasyonlar	Ortalama Derinlik (cm)	Konum
İstasyon 1	148	39°47'11.5"N 32°48'13.1"E (Taşman Cafe yakını)
İstasyon 2	198	39°46'24.5"N 32°47'14.9"E (Ted Üniversitesi kayıkhanesi)
İstasyon 3	143	39°46'29.0"N 32°48'07.0"E (Vilayetler Evi Gölbaşı iskelesi)
İstasyon 4	190	39°45'30.8"N 32°47'02.6"E

3. MATERYAL METOT

3.1.Suyun Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Tespiti

Derinlik ve Secchi derinliği 20 cm çaplı Secchi Disk ile ölçülmüştür. Yüzeiden alınan su örnekleri, ışık geçirmez şişelerde muhafaza edilerek, su sıcaklığı(°C), pH, iletkenlik($\mu\text{s}/\text{cm}$), bulanıklık (NTU), toplam çözünmüş madde (mg/L), toplam fosfor(mg/L), toplam azot (mg/L) ve klorofil-a ($\mu\text{g}/\text{L}$) örneklemei takiben uluslararası kabul görmüş standart metotlar ile ölçülmüştür.

Su sıcaklığı(°C), SM 2550 B metodu ile ölçülmüştür. Bu metoda göre su sıcaklığı, 0,1°C veya daha az sıcaklık değışikliklerini ayırt edebilen ve sıcaklık değışimlerini hızlıca dengeleyebilen; herhangi bir standart cam hazneli sıvılı termometre veya analog ya da dijital okuma yapan elektronik bir termometre ile ölçülebilir (Bridgewater, 2017).

pH, temel prensibi bir çözeltideki hidrojen iyon aktivitesini ölçmek olan TS EN ISO 10523 metodu ile ölçülmüştür. Uluslararası standartlarda yer alan elektrometrik metotlar bir elektrokimyasal hücrenin, iki elektrotu arasındaki potansiyel farkının ölçülmesine dayalıdır. Ölçüm elektrotunun potansiyeli çözeltideki hidrojen iyonlarının aktivitesinin bir fonksiyonudur (ISO 10523, 2008). Sørensen, pH'ı bir çözeltideki hidrojen iyonlarının konsantrasyonu olarak tanımlamıştır. Ancak sonraki çalışmalarda, pH'ı bir çözeltideki hidrojen iyonlarının aktivitesi olarak tanımlamanın daha uygun olduğu kabul görmüştür (Buck ve ark., 2002).

İletkenlik ($\mu\text{s}/\text{cm}$), temel prensibi sulu çözeltilerin elektriksel iletkenliğinin uygun bir cihaz ile doğrudan tespiti edilmesi olan, TS 9748 EN 27888 metodu ile ölçülmüştür. Elektriksel iletkenlik, bir su numunesindeki iyonlaşabilen maddelerin konsantrasyonu olarak tanımlanmıştır ve suda bulunan iyonların iletği akımın ölçüsüdür. İletkenlik, numunedeki iyonların konsantrasyonuna, türüne ve niteliğine, suyun sıcaklığına ve viskozitesine bağlıdır (TS 9748 EN 27888, 1996).

Bulanıklık (NTU), çözünmemiş maddeler nedeniyle bir sıvının ışık geçirgenliğinin azalması olarak tanımlanmıştır. Genel prensibi, çözünmemiş madde partiküllerinin, su numunesinden geçen anlık radyasyonu eşit olmayan bir şekilde her yöne dağıtarak

azaltılmasına dayanan; TS EN ISO 7027-1 metodu ile ölçülmüştür. Dağılan radyasyonun yoğunluğu; anlık radyasyonun dalga boyuna, ölçüm açısına ve su numunesindeki asılı partiküllerin boyut ve optik özelliklerine bağlıdır. Bir su örneğinin bulanıklık derecesi, nefelometre ile dağılan radyasyonun ölçümü yapılarak tayin edilmektedir (ISO 7027-1, 2016).

Toplam çözünmüş madde ölçümleri, SM 2540 C metodu ile yapılmıştır. Bu metotta, iyi karıştırılmış su numunesi, çapı 22mm-125 mm arasında değişen ve gözenek büyüklüğü 2 µm'den küçük olan standart cam elyaf filtreden geçirilir. Daha sonra, süzüntü önceden tartılmış kaba alınarak, kuruyana kadar buharlaştırılır ve sabit ağırlığa ulaşana kadar $180 \pm 2^\circ\text{C}$ 'lik fırında kurutulur. Önceden tartılmış kabın bu işlemten sonraki ağırlık artışı, numunedeki toplam çözünmüş katı madde miktarını vermektedir (Bridgewater, 2017).

Toplam fosfor (mg/L), seçilmiş elementlerin, uranyum izotopları dahil, ICP-MS (İndüktif olarak eşleşmiş plazma kütle spektrometri) ile çoklu element tayini yöntemiyle ölçülmüştür. Bu yöntemde, ölçüm yapılacak çözelti, bir radyo frekans plazma içine yerleştirilir ve plazmadaki enerji transfer süreçleri elementlerin bozulmasına, atomlarına ayrışmasına ve iyonlaşmasına neden olur. Plazmadaki iyonlar, kademeli olarak pompalanmış vakum ara yüzü ile plazmadan çıkarılır, iyon optiği ve kütle-yük oranlarına bağlı olarak kütle spektrometresi ile ayrılırlar. Kütle ayırma ünitesinden geçen iyonlar, bir veri tespit sistemine aktarılarak, sinyal yoğunluğu ve kütle konsantrasyonu arasındaki doğrusal ilişkiye dayanarak tespit edilir (ISO 172942, 2016).

Toplam azot (mg/L), iyon kromatografi ile anyonların belirlenmesini içeren SM 4110 B metodu ile tespit edilmiştir. Bu metotta, su numunesi bir eluente enjekte edilerek, iyon değiştiriciler serisinden geçirilir. Tespiti yapılacak anyonlar, düşük kapasiteli yüksek bazik anyon değiştiricisine göreceli afinitelerine göre ayrılır. Ayrılmış anyonlar, eluent iletkenliğini sürekli olarak baskılayan ve analizi yapılan maddenin yanıtını artıran baskılayıcı bir cihaza yönlendirilir. Baskılayıcı cihaz içerisinde, ayrılmış anyonlar en iletken asit formlarına dönüştürülürken eluentin iletkenliği de büyük ölçüde azaltılır. Ayrılmış anyonların ölçümü, asit formlarının iletkenliklerinin ölçümü ile yapılır. Bazı bakterilerin, nitrat, nitrit ve fosfor bileşenlerini besin olarak kullanması sebebiyle, su numunelerinin 4°C 'de saklanması ve 48 saat için de analiz edilmesi gerekmektedir (Bridgewater, 2017).

Klorofil-a ($\mu\text{g/L}$), SM 10200 H metodu ile ölçülmüştür. Fotosentetik pigment konsantrasyonları fitoplankton biyokütle tahminlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tüm yeşil bitkiler, planktonik alglerin kuru ağırlığının yaklaşık %1 ile %2'ini oluşturulan klorofil-a içerir. SM 10200 H metodunda, fitoplankton içerisindeki klorofil-a tespiti için kullanılan üç teknik vardır, bunlar; spektrofotometrik, florometrik ve yüksek performanslı sıvı kromatografik (HPLC) teknikleridir. Florometrik teknikler, spektrofotometrik tekniklere göre daha hassastır, daha az örnek ile uygulanabilir ve canlı organizmalarda gerçekleştirilen deneylerde kullanılabilir. HPLC, klorofil a ve yardımcı pigmentleri (klorofil-b ve -c) ve klorofil degradasyon ürünleri dahil fotosentetik pigmentlerin miktarlarının belirlenmesinde faydalı bir tekniktir. Pigmentlerin dağılımı, fitoplankton komünitelerinin kompozisyonlarının nicel değerlendirilmelerinde ve zooplankton otlama aktivitelerinin tespitinde de kullanışlı olmaktadır (Bridgewater, 2017).

3.2. Trofik statünün Belirlenmesi

Trofik statünün tespit edilmesinde Carlson'ın Trofik Statü İndeks (TSI) yöntemi kullanılmıştır.

Toplam fosfor TSI değerleri, Carlson Trofik Statü İndeks formülleri ile hesaplanmıştır. Toplam azot TSI değeri ise Kratzer ve Brezonik'in formülü ile hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan formüller Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Trofik Statü İndeks (TSI) Formülleri

$TSI(TP) = 10\left(6 - \frac{\ln \frac{48}{TP}}{\ln 2}\right)$	(Carlson, 1977)
$TSI(SD) = 10\left(6 - \frac{\ln (SD)}{\ln 2}\right)$	(Carlson, 1977)
$TSI(TN) = 54,45 + 14,43 \ln (TN)$	(Kratzer&Brezonik, 1981)

3.3.Karbondioksit Ölçümleri

Karbondioksit ölçümleri için, Sun ve ark. (2021)'nin Ulansuhai gölündeki çalışması örnek alınarak, Şekil 3.1.'de ve Şekil 3.2.'de gösterilen, su üzerinde kapalı bir oda gibi davranan düzenek tasarlanmıştır. Düzenek hazırlanırken, 19 L'lik su damacanası kullanılmıştır. Düzenek içerisine, iç hava kalitesi üzerine uzmanlaşmış Sensgreen'in "Sensnode CO₂TM" karbondioksit sensörü yerleştirilmiştir.

Sudan salınan karbondioksitin tespit edilebilmesi için damacananın tabanı kesilerek çıkartılmıştır. Düzeneğin su üstünde yüzebilmesi için, iç çapı 26 cm ve dış çapı 50 cm olan tekne tipi küçük can simidi kullanılmıştır. Düzeneğin atmosferle ilişkisini kesmek için ağız kısmı tamamen kapanacak şekilde tahta tıpa eklenmiştir. Sensör, ölçüm yapmasını engellemeyecek bir file torba içine yerleştirilerek tahta tıpanın iç taraftaki ucuna takılan çengele asılmıştır ve düzenek içerisinde su yüzeyine çok yakın olmayacak şekilde sarkıtılmıştır.

Sensnode CO₂TM, bir modem ve bir alıcı ile çalışmaktadır. Alıcı ve sensör, internet üzerinden birbirlerine bağlıdır ve sensörün yaptığı ölçümler canlı olarak Sensgreen Platform'u üzerinden takip edilebilmektedir. Sensnode CO₂TM, karbondioksit ölçümünün yanı sıra, bulunduğu odadaki hava sıcaklığını, nemi, uçucu organik bileşik miktarını ve çiylenme noktası ölçümleri de yapmaktadır. Çizelge 3.2.'de Sensnode CO₂TM'un bu çalışma kapsamında kullanılan özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Sensnode CO₂TM Özellikleri

Maksimum transmisyon aralığı	60m – 1km
Güncelleme aralığı	15 dakika
Çalışma sıcaklığı	-10°C – 60°C (±0,3°C (15°C – 35°C), ±0,8°C (-10°C – 60°C))
Bağıl nem	%0 – %100 (±%1 (15 °C – 35 °C, %20 – %65), ±%3 (-10 °C – 60 °C, %0 – %100))



Şekil 3.1. CO₂ ölçüm düzeneği, İstasyon 4 açığı



Şekil 3.3. CO₂ ölçüm düzeneği, İstasyon 2

Soğurum Spektroskopisi, atom ve moleküllerin elektromanyetik radyasyonu soğurmasını çalışır. Bu yaklaşımda, soğurulan ışık yoğunluğu dalga boyunun fonksiyonu olarak ölçülür. Spektroskopik veri; boyut, şekil gibi moleküler yapı özelliklerinin yanı sıra kimyasal bağların yapısı ve enerji seviyeleri arasındaki ilişkilerin çalışıldığı alanlarda da kullanılabilir. Farklı moleküller, elektromanyetik radyasyonu farklı dalga boylarında soğurduğu için bu yaklaşım pek çok farklı uygulamada kullanılabilir, örneğin; farklı moleküllerin iz konsantrasyonu ölçümlerinde, laboratuvarında yapılan kinetik ve mekanik çalışmalarda, yanma araştırmalarında, tıbbi uygulamalarda, otomotiv alanındaki çalışmalarda, sigara emisyonu çalışmalarda, farklı yüzeylerdeki akı ölçüm çalışmalarda, biyo-ajan ve patlayıcı tespit çalışmalarda ve atmosferik çalışmalarda atmosferik bileşenlerin iz konsantrasyonu ölçümlerinde kullanılmaktadır (Heard, 2006).

Atmosferik çalışmalarda, özellikle kızılötesi spektral bölgede elektromanyetik radyasyon yaklaşımı kullanılarak ölçüm yapılmaktadır. Bu ölçümler atmosferik süreçlerin anlaşılmasında, özellikle sera gazlarının birikimi ve iklim değişikliğindeki rolleri ile atmosferdeki kimyasal reaksiyonlar hakkında detaylı bilgi sağlaması açısından oldukça

önemlidir. Soy gazlar ve eş-çekirdekli diatom moleküller (O_2 , N_2 ve H_2) dışında, hemen hemen tüm atmosferik bileşenler, orta derecede ya da güçlü kızılötesi radyasyon emilim kapasitesine sahiptir. Bu durum da kızılötesi soğurum spektroskopisini, atmosfer çalışmaları için son derece kullanışlı bir yöntem haline getirmektedir (Heard, 2006).

Sensnode CO_2^{TM} , NDIR (Non-dispersive Infra-red) sensör prensibi ile çalışmaktadır. Son yıllarda, NDIR sensörler karbondioksit konsantrasyon ölçümünde öne çıkan bir teknik haline gelmiştir. Bu teknik karbondioksit moleküllerinin karakteristik yapı özelliklerini kullanır; karbondioksit molekülleri yaklaşık 4.2 μm dalga boyundaki kızılötesi ışınları güçlü bir şekilde soğurabilmektedir. Bir gaz örneğine, bu dalga boyundaki ışınlar verildiğinde soğurulan ışının oranı ile karbondioksit konsantrasyonu hesaplanabilmektedir (SENSIRION, 2023).

3.3.1. Karbondioksit Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Her istasyon için, karbondioksit konsantrasyonundaki dalgalanmaların ve karbondioksit artış hızının mevsimsel değişiminin saptanabilmesi için, sensör verilerinin logaritmik artışı incelenmiştir. Sensnode CO_2^{TM} , karbondioksit konsantrasyonunu kümülatif olarak ölçmektedir ve değişim hızı anlık ölçülen veriler üzerinden çalışılmıştır.

Ortalama karbondioksit miktarı, mevsimsel olarak her istasyon için, 24 saatlik sensör verilerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Salınan karbondioksit miktarının, mevsimsel ve istasyon bazında (ve bunların etkileşimi kapsamında) farklılıkları, R programı (R Core Team, 2020) baz paketi içerisindeki ANOVA fonksiyonu ile analiz edilmiştir ($\log(CO_2 \text{ ppm}) \sim \text{Mevsim} \times \text{İstasyon}$).

ANOVA varsayımları (normalite, varyansın homojen dağılımı) CO_2 (ppm) değerlerinin logaritması alınarak, R programı (R Core Team, 2020) baz paketi içerisindeki Shapiro-Wilk normalite testi ve Barlett testi ile sınanmış ve verinin varyans analizine uygun olduğu gösterilmiştir. Analizlerde, düzenek içi sıcaklık ($^{\circ}C$), nem (%), karbondioksit (ppm), $\log(CO_2)$ (ppm), TP (mg /L) ve TN (mg/L) parametreleri kullanılmıştır.

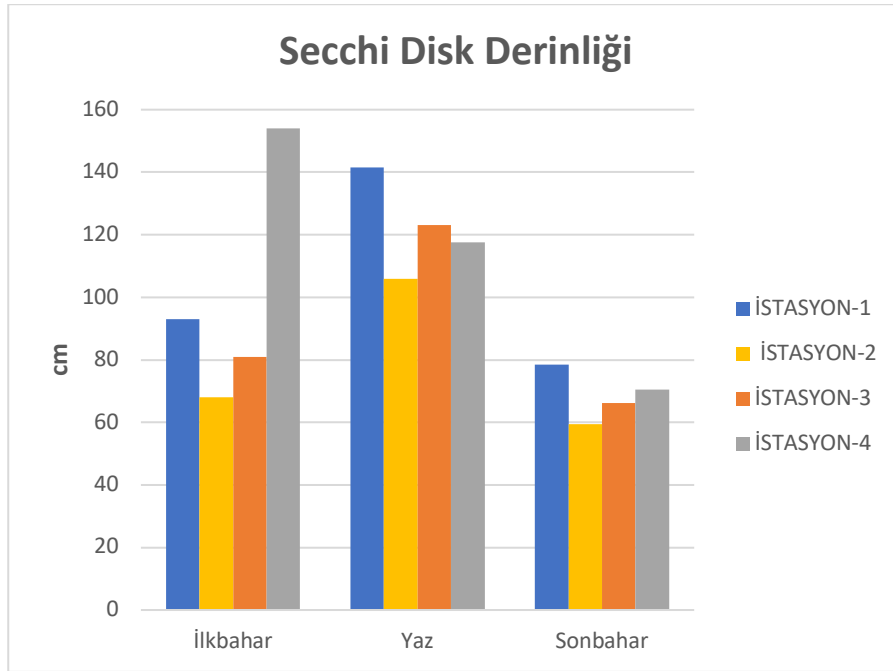
4. BULGULAR

Mogan Gölü'nde farklı ötrofikasyon derecelerinin karbondioksit salınımına etkisinin araştırıldığı bu tez çalışmasında, yapılan analizler ve hesaplar sonucunda elde edilen bulgular bu bölümde sunulacaktır.

4.1.Suyun Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Tespiti

4.1.1. Secchi Disk Derinliği

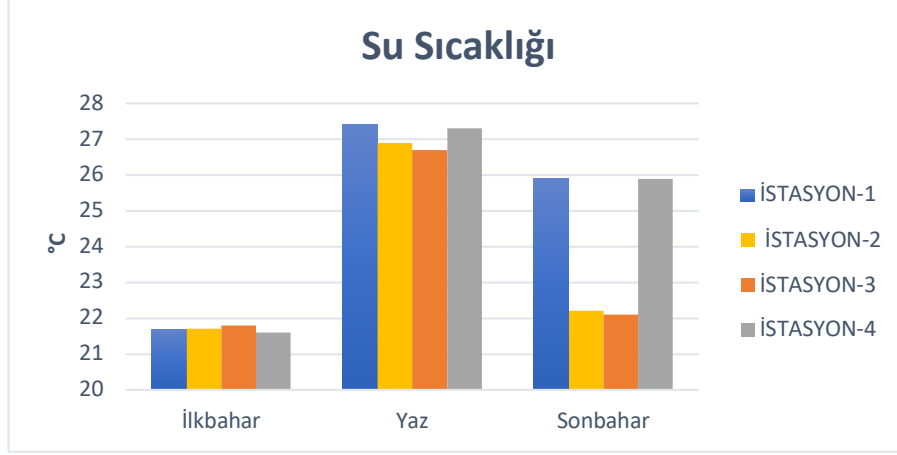
Gölde en yüksek Secchi Disk derinliği, yaz mevsiminde İstasyon 1'de 141,50 cm olarak ve en düşük Secchi Disk derinliği Sonbahar ayında İstasyon 2'de 59,50 cm olarak ölçülmüştür. Secchi Disk derinliği, İstasyon 4 dışındaki tüm istasyonlarda yaz mevsiminde artmıştır ve tüm istasyonlar için sonbaharda ciddi oranda azalmıştır (Şekil4.1).



Şekil 4.1. Mevsimlere göre Secchi Disk derinliği değişimi

4.1.2. Sıcaklık

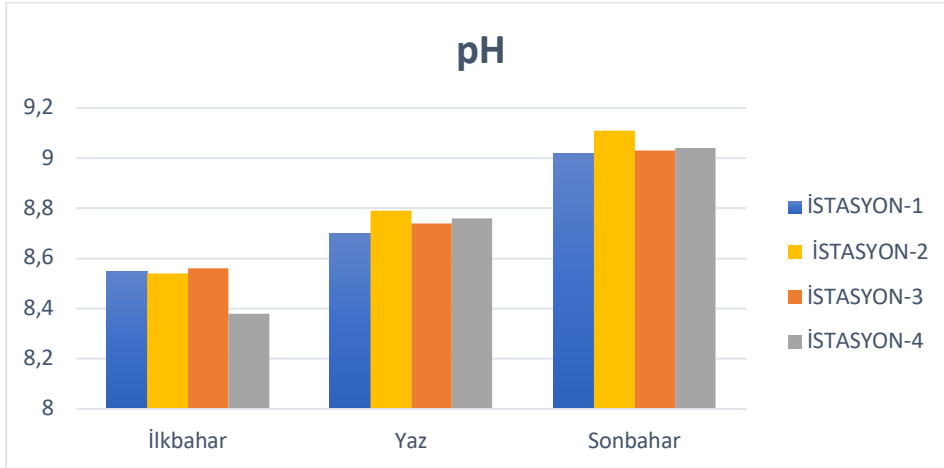
Göl genelinde su sıcaklığı, yaz mevsiminde artmıştır. En düşük sıcaklık ilkbahar mevsiminde İstasyon 4'te 21,6°C ölçülürken, en yüksek su sıcaklığı yaz mevsiminde İstasyon 1 'de 27,4°C olarak ölçülmüştür (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Mevsimlere göre su sıcaklık değişimi

4.1.3. pH

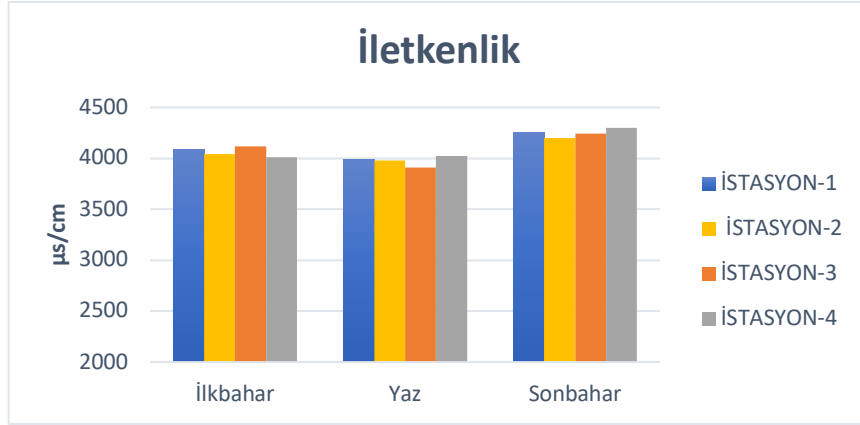
Gölde en düşük pH, ilkbahar mevsiminde İstasyon 1 'de 8,55 ölçülürken, en yüksek pH değeri İstasyon 2'de sonbahar mevsiminde ölçülmüştür. Göl genelinde, ilkbahar mevsiminden sonbahar mevsimine tüm istasyonlarda pH değerleri artış göstermiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Mevsimlere göre pH değişimi

4.1.4. İletkenlik

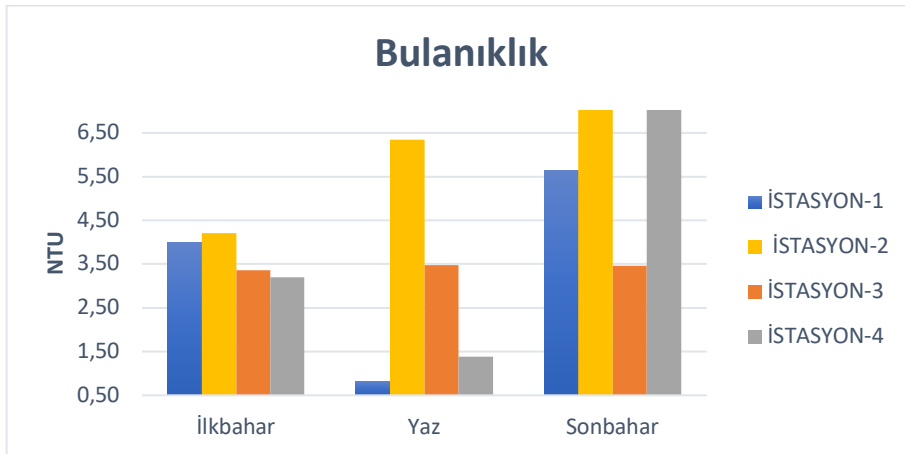
Gölde en yüksek iletkenlik değerleri, sonbahar mevsiminde İstasyon 1 ve İstasyon 4'te sırasıyla; 4250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve 4300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ölçülürken, en düşük değer yaz mevsiminde İstasyon 1'de 3910 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ölçülmüştür (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Mevsimlere göre iletkenlik değişimi

4.1.5. Bulanıklık

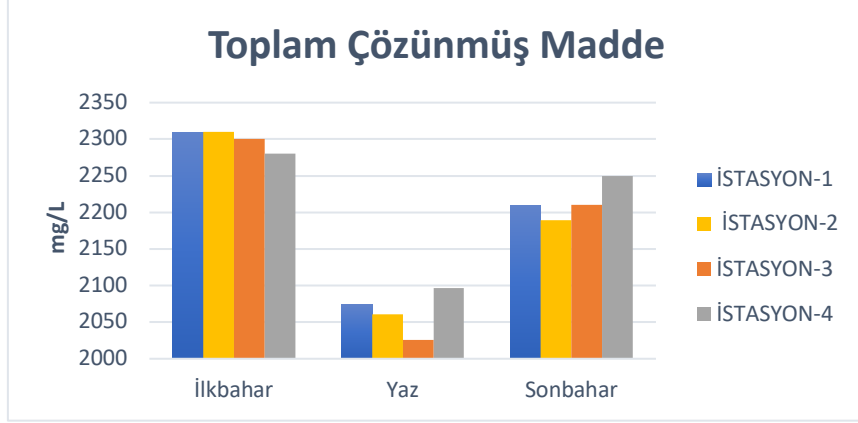
Gölde en düşük bulanıklık yaz mevsiminde İstasyon 1'de 0,84 NTU olarak ölçülmüştür ve en yüksek bulanıklık sonbahar mevsiminde İstasyon 2 ve İstasyon 4'te sırasıyla; 7,14 NTU ve 7,17 NTU olarak ölçülmüştür. Bulanıklık göl genelinde mevsimsel olarak değişkenlik göstermiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Mevsimlere göre bulanıklık değişimi

4.1.6. Toplam Çözünmüş Madde

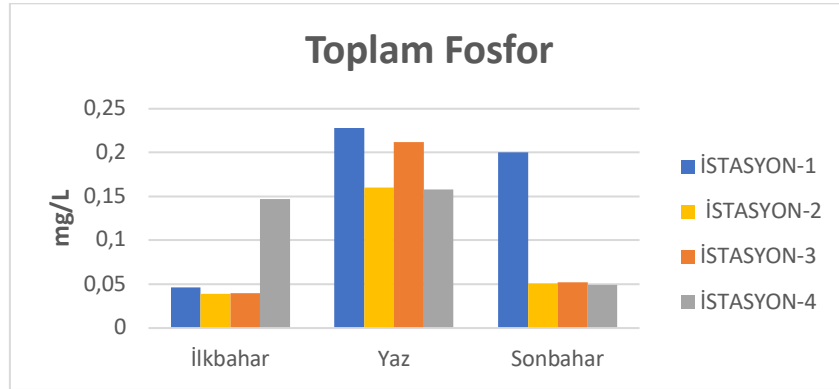
Toplam çözünmüş madde değerleri, göl genelinde yaz mevsiminde ciddi oranda düşüş göstermiştir. En yüksek çözünmüş madde değerleri, ilkbahar mevsiminde İstasyon 1’de ve İstasyon 2’de ölçülürken, en düşük çözünmüş madde değeri yaz mevsiminde İstasyon 3’te ölçülmüştür (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Mevsimlere göre toplam çözünmüş madde değişimi

4.1.7. Toplam Fosfor

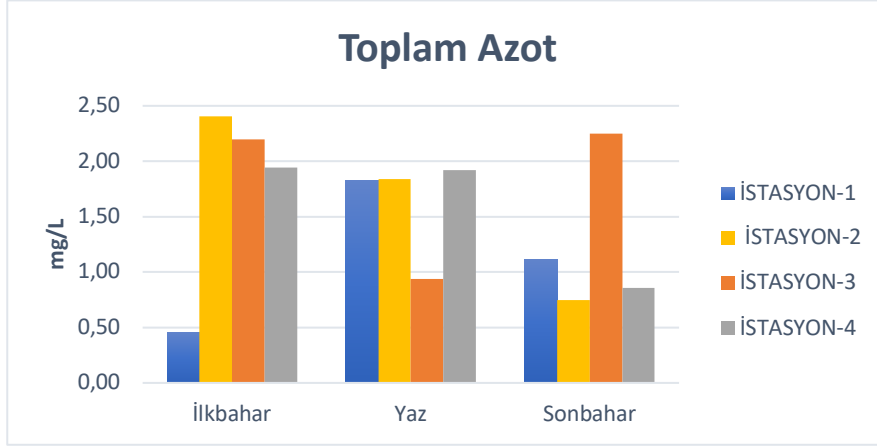
Toplam fosfor değerleri, göl genelinde özellikle yaz mevsiminde ciddi artış göstermiştir. Tüm istasyonlarda sonbahar mevsiminde, toplam fosfor değerlerinde ciddi oranda düşüş saptanırken, İstasyon 1’deki fosfor değerlerindeki düşüş diğer istasyonlara göre oldukça azdır. Gölde en yüksek toplam fosfor değeri yaz mevsiminde İstasyon 1’de 0,228 mg/L ölçülürken, en düşük toplam fosfor değeri ilkbahar mevsiminde İstasyon 2’de ölçülmüştür (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Mevsimlere göre toplam fosfor değişimi

4.1.8. Toplam Azot

Gölde en yüksek, toplam azot değeri ilkbahar mevsiminde İstasyon 2’de 2,408 mg/L olarak ölçülürken, en düşük toplam azot ilkbaharda İstasyon 1’de 0,46 mg/L olarak ölçülmüştür. Toplam azot değerleri, göl genelinde mevsimsel olarak değişkenlik göstermiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Mevsimlere göre toplam azot değişimi

4.1.9. Klorofil-a

Klorofil-a değerleri, göl genelinde bütün mevsimler için 1 $\mu\text{g/L}$ 'den küçük ölçüldüğü için trofik statü belirlenmesinde kullanılmamıştır.

4.2. Trofik Statü Tespiti

Su kirliliğinin mevsimsel olarak tespit edilmesinde Carlson Trofik Statü İndeksi metodu kullanılmıştır. Toplam Fosfor (TP), trofik statü değerlendirmelerinde ve deneysel göl ve modellemelerinde yaygın olarak kullanılan bir parametredir. Oransal olarak, toplam fosforun büyük bir kısmı, algler tarafından tüketilebilen inorganik ortofosfat içermektedir. Sonuç olarak, bir göldeki besin konsantrasyonları düşüğe (örneğin, $<5\mu\text{g/L}$), alg büyümesi için fosfor sınırlayıcı faktör olarak belirlenebilmektedir (Brown ve ark., 2001). Bu kapsamda Toplam Fosfor (TP) sınırlayıcı faktör olarak belirlenmiştir ve istasyonların ötrofikasyon dereceleri Çizelge 4.1’de gösterilen Carlson TSI değerleri

üzerinden tespit edilmiştir. Çizelge 4.2’de ise mevsimsel olarak tüm istasyonlar için belirlenen Trofik Statü tanımları verilmiştir.

Çizelge 4.1. Carlson TSI değerleri ve Trofik Statü çizelgesi

TSI Değeri	Trofik Statü
≥ 70	Hiperötrofik
53-69	Ötrofik
45-52	Mezotrofik
30-44	Oligotrofik
≤ 29	Ultraoligotrofik

Çizelge 4.2. İstasyonların mevsimsel Trofik Statü Tanımlamaları

	İSTASYON-1	İSTASYON-2	İSTASYON-3	İSTASYON-4
İlkbahar TSI (TP)	55,91	54,26	54,51	67,53
Trofik Statü - İ	Ötrofik	Ötrofik	Ötrofik	Ötrofik
Yaz TSI (TP)	82,48	77,37	81,43	77,19
Trofik Statü - Y	Hiperötrofik	Hiperötrofik	Hiperötrofik	Hiperötrofik
Sonbahar TSI (TP)	80,59	60,30	60,87	61,15
Trofik Statü- S	Hiperötrofik	Ötrofik	Ötrofik	Ötrofik

4.3.Karbondioksit Ölçüm Sonuçları

Sensörün düzenek içerisinde ölçtüğü karbondioksit değerleri, anlık olarak Sensgreen Platformundan takip edilmiştir.

4.3.1. Karbondioksit Değişiminin Saptanması

Karbondioksit değişiminin tespiti için, tüm istasyonlardan gelen verilerin logaritmik artışı incelenmiştir. İlkbahar, yaz ve sonbahar mevsimleri için tüm istasyonların karbondioksit artış grafikleri sırasıyla Ek-1’de (Ek-1a, Ek-1b, Ek2-c)

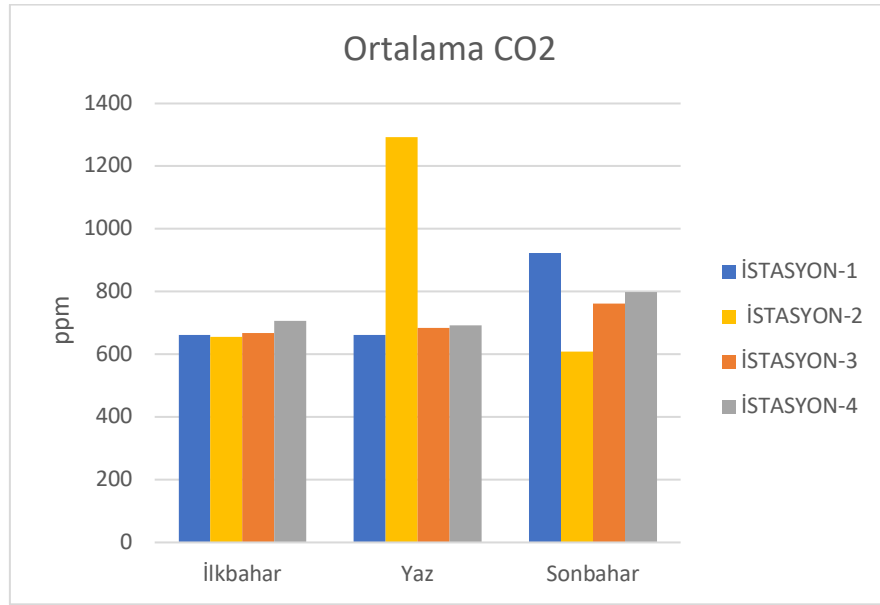
4.3.2. Ortalama Karbondioksit Tespiti

Karbondioksit değişiminin tespit edilmesinin yanı sıra, her mevsim için istasyonlardaki ortalama karbondioksit değerleri de hesaplanmıştır ve izelge 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Mevsimsel ortalama CO₂ değerleri

Mevsim	İstasyon	Ortalama CO ₂ (ppm)
İlkbahar	İstasyon 1	661,9
	İstasyon 2	655,2
	İstasyon 3	666,9
	İstasyon 4	706,3
Yaz	İstasyon 1	661,7
	İstasyon 2	1293,1
	İstasyon 3	684,7
	İstasyon 4	692,7
Sonbahar	İstasyon 1	923,5
	İstasyon 2	608,8
	İstasyon 3	761
	İstasyon 4	799,2

Mevsimsel ortalama karbondioksit değişim grafiği Şekil 4.9.'da sunulmuştur.



Şekil 4.9. Mevsimsel ortalama CO₂ değişim grafiği

4.3.3. Karbondioksit Konsantrasyonu ve Ötrofikasyon İlişkisinin Tespiti

Gölden salınan karbondioksit konsantrasyonlarının mevsimsel ve istasyon bazında farklılıklarının tespit edilmesi amacıyla varyans analiz testi sonuçları Çizelge 4.4'te özetlenmiştir.

Çizelge 4.4. Logaritması alınmış karbondioksit değerleri varyans analizi sonuçları

	Df	Sum Square	Mean Square	F value	p
Mevsim	2	1,0180	0,50899	70,776	<2,2 e-16
İstasyon	3	0,4588	0,15294	21,267	2,161 e-13
Mevsim:İstasyon	6	6,0823	1,01371	140,961	<2,2 e-16

Artıklar	1092	7,8531	0,00719
-----------------	------	--------	---------

Çizelge 4.4.'te de özetlendiği üzere, karbondioksit salınımının, mevsimsel ve istasyon bazında (ve bunların etkileşimi kapsamında) istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0,05$) bir değişiklik gösterdiği saptanmıştır. Değişikliğin hangi mevsim ve istasyonlarda olduğunu gözlemek amacıyla ikili karşılaştırma test sonuçları sırasıyla, Çizelge 4.5. ve Çizelge 4.6. ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.5.'te de özetlendiği üzere, tüm mevsimlerin birbirlerinden anlamlı derecede farklılık gösterdiği saptanmıştır. Mevsimsel ortalama karbondioksit konsantrasyonlarında da bu farklılık görülmektedir; İlkbahar, Yaz ve Sonbahar mevsimleri için ortalama karbondioksit konsantrasyonları sırasıyla; 673 ppm, 832 ppm ve 773 ppm olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.5. Mevsimsel farklılık

	estimate	SE	Df	t	p
İlkbahar- Sonbahar	-0,0476	0,00623	1092	-7,647	<,0001
İlkbahar- Yaz	-0,0742	0,00628	1092	-11,814	<,0001
Sonbahar- Yaz	-0,0266	0,00624	1092	-4,254	0,0001

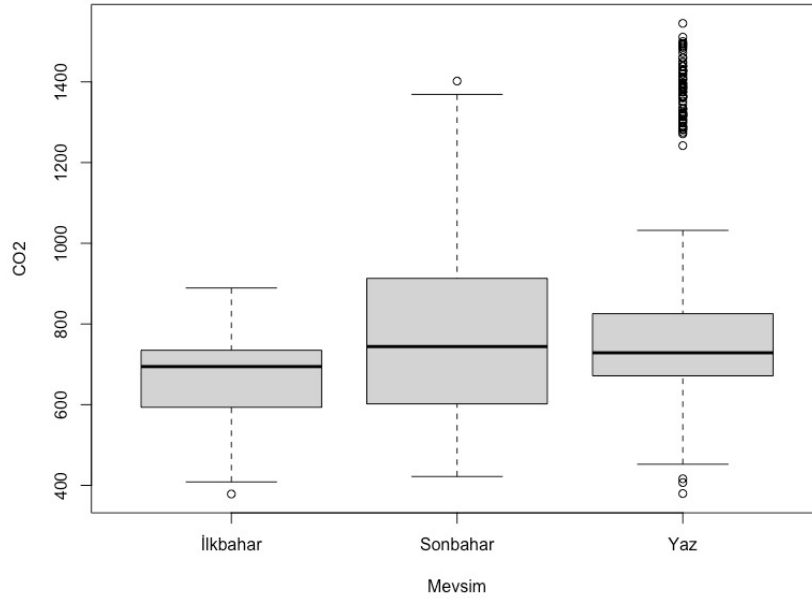
Çizelge 4.6.'da da özetlendiği üzere, istasyonlar arası farklılıklar değerlendirildiğinde, İstasyon 2 diğer istasyonlara kıyasla, istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık ($p < ,0001$) göstermektedir. İstasyonların ortalama karbondioksit salınım değerlerine bakıldığında, İstasyon 1, İstasyon 2, İstasyon 3 ve İstasyon 4 için bu değerler sırasıyla; 751 ppm, 848 ppm, 705 ppm ve 733 ppm olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.6. İstasyon bazında farklılık

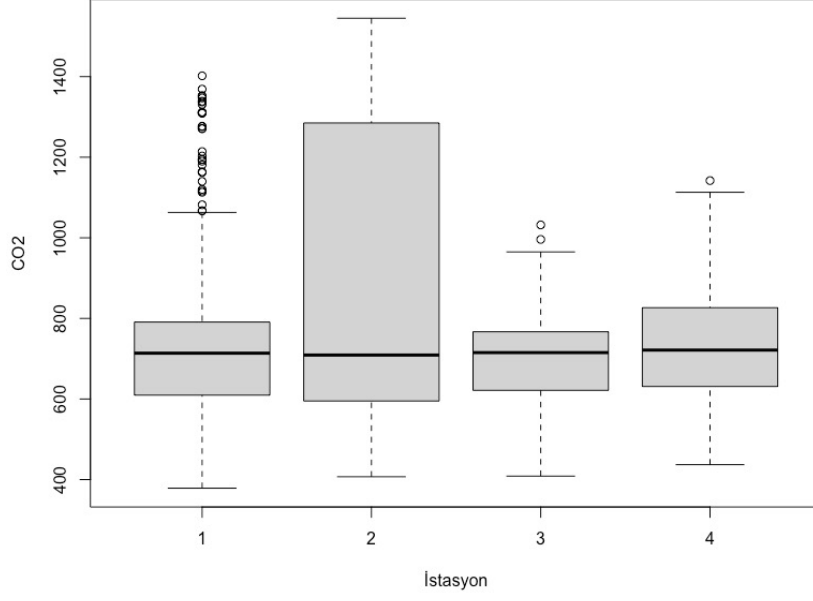
	estimate	SE	Df	t	p
İstasyon1- İstasyon2	-0,04048	0,00723	1092	-5.596	<,0001

İstasyon1- İstasyon3	0,01734	0,00722	1092	2,402	0,0773
İstasyon1- İstasyon4	0,00174	0,00722	1092	0,242	0,9950
İstasyon2- İstasyon3	0,05782	0,00722	1092	8,008	<,0001
İstasyon2- İstasyon4	0,04222	0,00722	1092	5,848	<,0001
İstasyon3- İstasyon4	-0,01560	0.00721	1092	-2,164	0,1339

Varyans analiz sonuçlarının, mevsimsel ve istasyon bazında farklılık grafikleri sırasıyla, Şekil 4.10. ve Şekil 4.11’de verilmiştir.

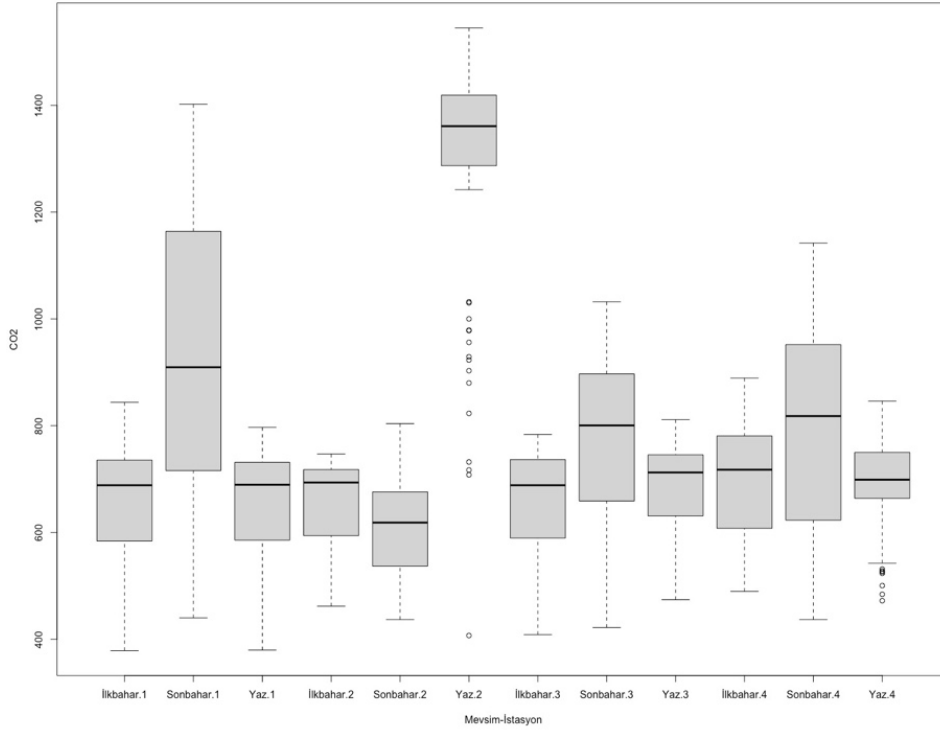


Şekil 4.10. Karbondioksit salınımının mevsimsel farklılık grafiği



Şekil 4.11. Karbondioksit salınımının istasyon bazında farklılık grafiği

Varyans analizi sonrası ikili karşılaştırma testleri sonucunda, karbondioksit salınımının, mevsimsel ve istasyon bazında (ve bunların etkileşimi kapsamında) istatistiksel olarak farklılık grafiği Şekil 4.12’te gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Mevsim x İstasyon bazında karbondioksit salınım farklılıkları

Şekil 4.12’de de görüldüğü gibi karbondioksit salınımında yaz mevsiminde İstasyon 2’de diğer istasyon ve mevsimlere kıyasla, istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmiştir.

5. SONUÇ ve TARTIŞMA

Mogan Gölü’nün karbondioksit salınımı ile iklim değişikliğine etkisinin araştırıldığı bu tez çalışmasının sonuçları bu bölümde tartışılacaktır.

Ankara’ya yakınlığı ve çevresindeki tesisler ile antropojenik faaliyetlerden ciddi oranda etkilenmekte olan Mogan Gölü, uzun yıllardır su kirliliği ve ekolojik bozulma tehdidi altındadır. Obalı, 1984 yılında yaptığı çalışmasında, alg patlamalarında sıkça görülen bir siyanobakteri türü olan *Microcystis aeruginosa*’nın, yaz mevsiminde Mogan Gölü’nde aşırı büyüme gösterdiğine değinmiştir (Gönüloğlu, 1985; Reynolds ve ark. 1981). Gönüloğlu ve ark., 1986’da yayınladıkları makalelerinde Mogan Gölü’nden “ötrofik” olarak bahsetmişlerdir (Gönüloğlu ve ark., 1986). Fakıoğlu ve ark., 2005 yılında Mogan Gölü’nde uygulanan bazı restorasyon çalışmalarının dış kaynaklı fosfor yükü üzerindeki etkisini

araştırdıkları çalışmalarında, fosfor yükü miktarının nicel olarak belirlenmesinin gölün ötrofik seviyesini iyileştirmek için uygulanacak stratejiler açısından önemli olduğunu vurgulamışlardır (Fakıoğlu ve ark., 2005). Manav ve ark., 2008 yılında yayınladıkları makalelerinde, Mogan Gölü'nün trofik statüsünü, en iyimser şekilde ifade etmek gerekirse, mezotrofik/ötrofik olarak belirlemişlerdir (Manav ve ark., 2008). Yerli ve ark., 2012 yılında yayınladıkları makalede, eski ve yeni çalışmalardaki verileri analiz etmişlerdir. Klorofil-a konsantrasyonunun önceki çalışmalara göre artmış olduğunu ve Mogan Gölü'nün ötrofik durumunu sürdürdüğünü saptamışlardır (Yerli ve ark., 2012). Beklioğlu ve ark., 2017 yılında yaptıkları çalışmalarında Mogan Gölü'nde ötrofikasyon sorununun devam ettiğine dikkat çekmişlerdir (Beklioğlu ve ark., 2017). Göllerde ötrofikasyona yönelik model uygulamaları değerlendirdiği derleme makalesinde Pulatsü, Mogan Gölü'nün ötrofik durumuna değinmiştir (Pulatsü, 2022).

Temel nedeni antropojenik faaliyetler olan küresel iklim değişikliği çağımızın en ciddi çevre sorunu olarak ele alınmaktadır. Sera gazlarının atmosferdeki konsantrasyonunun artması, güneş ışınlarının atmosferde hapsolmesine neden olarak, yeryüzünün ve okyanusların ısınmasına ve iklim sistemlerinin enerji dengelerinin değişmesine yol açmaktadır. IPCC raporlarına göre, emisyon oranı en fazla olan sera gazları sırasıyla; karbondioksit, metan ve azot oksittir (IPCC, 2021). Farklı sektörlerde enerji üretimi için fosil yakıtların kullanılması ve arazi kullanımını, IPCC tarafından karbondioksit salınımını etkileyen en temel iki unsur olarak belirlenmiştir (Alley ve ark., 2007). Gün geçtikçe etkileri daha net bir şekilde ortaya çıkan küresel iklim değişikliği, dünya genelinde olası gelecek senaryoların çalışıldığı pek çok araştırmanın konusu haline gelmiştir.

Bu bağlamda ele alındığında, küresel iklim krizini etkileyen temel unsurlardan biri olmasa da özellikle lokal değerlendirmelerde ötrofik göllerden atmosfere salınan karbondioksit miktarı giderek daha çok ilgi çeken bir konu haline gelmiştir. Balmer ve ark., 2011 yılında yaptıkları çalışmalarında, sucul ekosistemlerin yaklaşık %90'ının karbondioksit salınımı yaptığına dikkat çekmişlerdir. Bu anlamda öncelikli olarak yerel ölçekte ciddi anlamda etkili olabileceklerini ve genel değerlendirmelerde küresel ölçekte de göz ardı edilmemesi gerektiğini öne sürmüşlerdir (Balmer ve ark., 2011). Davidson ve ark., 2015 yılında yaptıkları araştırmalarında, sığ göllerde sera gazı salınımına, dolaylı yoldan sıcaklık ile ilişkili olan besin miktarı ve birincil üreticilerin yoğunluğunun daha çok etkisi olduğunu, uyguladıkları mesocosm deneyleri ile saptamışlardır (Davidson ve

ark., 2015). Daha sonra yapılan çalışmalara bakıldığında, ötrofik göllerden salınan sera gazlarının giderek toplam atmosferik emisyona daha da fazla etki ettiği görülmektedir. 2018 yılında Delsontro ve ark., ötrofik göllerden salınan sera gazlarının atmosferik etkisinin, fosil yakıtlardan salınan karbondioksitin yaklaşık %20'sine denk olduğu sonucuna varmışlardır (Delsontro ve ark., 2018). 2019 yılında Beaulieu ve ark., tatlı su ötrofikasyonunun gelecekteki besin yükleme senaryolarının simülasyon modellerinde, önümüzdeki yüzyılda metan gazı emisyonlarının %30-90 oranında artacağını öngörmüşlerdir ve bu miktarın fosil yakıtların kullanımı nedeniyle salınan karbondioksit miktarının yaklaşık %18-30'una denk geldiğini vurgulamışlardır (Beaulieu ve ark., 2019). Sun ve ark., 2021 yılında, yerel sığ bir göl olan Ulansuhai gölünde yaptıkları çalışmada, kış aylarında gölden salınan karbondioksit miktarının aylık toplam emisyonların %75,8'ini oluşturduğu tespit etmiş ve bu verinin yıllık karbon bütçesi içerisinde değerlendirilmesi gerektiği vurgulamışlardır (Sun ve ark., 2021). Yine 2021 yılında Li ve ark., tatlı su ötrofikasyonunun sera gazlarının salınımı üzerindeki etkisini değerlendirdikleri derleme makalelerinde, tatlı suların karbondioksit salınımının, yıllık fosil yakıt kaynaklı karbondioksit emisyon miktarının yaklaşık %31'ine denk geldiğini belirtmişlerdir (Li ve ark., 2021).

Ülkemizde, pek çok farklı sektörde (ulaşım, tarım, katı atık işleme ve atık su arıtım tesisleri gibi) karbondioksit emisyonunun çalışıldığı araştırmalar yapılmıştır (Gülhan ve ark., 2018; Bıyık ve ark., 2018; Arı ve ark., 2009; Binici ve ark. 2021). Ancak, ötrofik göller ve karbondioksit salınımları ile ilgili araştırma henüz yapılmamıştır.

Bu çalışmada, Mogan Gölü'nün trofik statüsü tespit edilerek, farklı ötrofikasyon seviyelerinin atmosfere salınan karbondioksit miktarına etkisini ortaya koymak amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, Mogan Gölü'nün trofik statüsü önceki çalışmalarla tutarlı olacak şekilde ötrofik/hiperötrofik olarak belirlenmiştir (Manav ve ark., 2008; Mangıt ve ark., 2009; Yerli ve ark., 2012).

Çalışma süresine Mogan Gölü'nde, Secchi derinliği 0,6 m ve 1,4 m arasında değişiklik göstermiştir. Göl genelinde ortalama Secchi derinliği, önceki çalışmalarla tutarlı olarak 0,9 m ölçülmüştür (Manav ve ark., 2008; Yerli ve ark., 2012). Önceki çalışmalardan farklı olarak en düşük Secchi derinliği sonbahar mevsiminde ölçülmüştür (Yerli ve ark. 2012).

Su sıcaklığı, 21°C ve 27°C arasında değişkenlik göstermiştir. Bu çalışmada maksimum sıcaklığı, önceki çalışmalarda tespit edilen maksimum su sıcaklığından yaklaşık 4°C daha fazladır (Yerli ve ark. 2012). Su sıcaklığı, sonbahar mevsiminde İstasyon 2 ve İstasyon 3 sırasıyla; 22,2°C ve 22,10°C ölçülmüştür. Bu değerler, aynı mevsimde İstasyon 1 ve İstasyon 4 değerlerinden yaklaşık 3°C daha düşüktür. Bunun farklılığın nedeni, İstasyon 2 ve İstasyon 3'te örnekleme yapıldığı gün, Mogan Gölü'nün yoğun yağış almış olması ile açıklanabilir.

Önceki çalışmalardan farklı olarak gölde en mevsimsel olarak en düşük pH değerleri ilkbahar mevsiminde gözlemlenmiştir (Yerli ve ark., 2012). En düşük, pH değeri, ilkbahar mevsiminde İstasyon 1'de ve en yüksek pH değeri sonbahar mevsiminde İstasyon 2'de sırasıyla; 8,55 olarak ve 9,11 olarak ölçülmüştür. pH değerlerinin, Mogan Gölü'nde önceki çalışmalarda ölçülen pH değerlerine yakın olduğu saptanmıştır (Manav ve ark., 2008; Yerli ve ark., 2012).

İletkenlik değerleri, diğer çalışmalardan farklılık göstererek oldukça yüksek ölçülmüştür (Yerli ve ark., 2012). Çalışma süresince, iletkenlik 3900 μ S/cm ve 4300 μ S/cm arası değişkenlik göstermiştir. Yüksek iletkenlik değerleri su sıcaklığının artması ve buharlaşma nedeniyle iyonik konsantrasyonun artması ile açıklanabilir (Yerli ve ark., 2012).

Gölde en yüksek bulanıklık, sonbahar mevsiminde İstasyon 2 ve İstasyon 4'te sırasıyla; 7,14 NTU ve 7,17 NTU olarak ölçülürken, en düşük bulanıklık yaz mevsiminde İstasyon 1'de 0,84 NTU olarak ölçülmüştür. Mevsimsel ortalamalara bakıldığında; ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimleri için sırasıyla; 3,70 NTU, 3,01 NTU ve 5,86 NTU olarak ölçülen bulanıklığın, önceki çalışmalara daha düşük olduğu saptanmıştır. Ayrıca, yine önceki çalışmaların aksine, bu çalışmada bulanıklık sonbaharda artış göstermiştir (Yerli ve ark., 2012). Yaz mevsiminde, göl genelinde, İstasyon 2 dışında bulanıklık azalmıştır ve Secchi derinliğinde artış tespit edilmiştir. Ancak, Çizelge 4.2'de de görüldüğü gibi, TSI (TP) değerleri diğer mevsimlere göre göl genelinde daha yüksek hesaplanmıştır ve gölün trofik statüsü hiperötrotfik olarak tespit edilmiştir. Bu sonuç, önceki çalışmalarda yaz mevsiminde saptanan düşük su seviyelerinde su altı bitkilerinin yoğunluğunun artması ile Secchi derinliğinin artması durumu ile benzerlik göstermektedir (Beklioğlu ve ark.,2006). Yine yaz mevsiminde, göl hiperötrotfik olarak sınıflandırılmasına rağmen, Secchi derinlik değerlerinde ciddi oranda artış saptanmıştır. Bu sonuç, yıllık verilere kıyasla düşük TP ve klorofil-a değerleri ve yüksek Secchi derinliği, özellikle sığ göllerde su altı bitkilerinin

baskın olması ile ortaya çıkan berrak su durumu ile örtüşmektedir (Burnak ve ark., 2000). Su altı bitkilerinin yoğunluğu ve gölde geniş dağılımı, su altı bitkileri üzerindeki epifitlerin fitoplankton için besin sınırlayıcı bir faktör olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, önceki çalışmalarda Mogan Gölünde de tespit edilmiş bu durum, sığ göllerde düşük TP ve Klorofil-a konsantrasyonları ve su altı bitkilerinin yoğunluğu, fitoplankton büyümesi için direkt bir tampon mekanizması yaratmaktadır. Bu bağlamda, çalışma sonuçları önceki araştırmalarla benzerlik göstermiştir (Burnak ve ark., 2000).

TDS değerleri, 2,03 mg/ml ve 2,31 mg/mL arasında değişiklik göstermiştir. Bu açıdan önceki çalışmalardaki değerlerle benzerlik saptanmıştır (Yerli ve ark., 2012). Bu çalışma sürecinde, Mogan Gölü'nde ölçülen TP ve TN değerleri, sırasıyla 0,046 mg/L ve 0,228 mg/L arasında ve 0,46 mg/L ve 2,41 mg/L değişkenlik göstererek, önceki yıllardaki çalışmalara göre daha yüksek saptanmıştır (Manav ve ark., 2008; Yerli ve ark., 2012). Ötrofikasyon süreci ve alg patlamalarının mekanizması, özellikle sığ göller için daha karışıktır. Bunun nedeni, sığ göllerin, göl ve göle kıyısı arasındaki güçlü bağlantılarıdır (Qin ve ark. 2007). Bu bağlamda değerlendirildiğinde de yüksek TP ve TN değerlerinin nedeni, Mogan Gölü çevresinde gelişen tesislerin etkisi kıyı bölgede insan faaliyetlerinin artması ve havza genelinde artan kentsel yapılaşma nedeni ile gölü besleyen derelerin domestik atık su miktarının artması olarak açıklanabilir. Mogan Gölü'nün klorofil-a konsantrasyonunun, önceki çalışmalardan farklı olarak, tüm mevsim ve istasyonlar için oldukça düşük ($<1\mu\text{g/L}$) olduğu tespit edilmiştir (Manav ve ark. (2008); Mangıt ve ark. (2009); Yerli ve ark., 2012).

Bu çalışmada, Mogan Gölü'nün trofik statüsünde istasyonlar arası büyük farklar saptanmamıştır. İlkbahar mevsiminde tüm istasyonlar ötrofik ve yaz mevsiminde tüm istasyonlar hiperötrofik olarak tespit edilmiştir. Çizelge 4.2.'de de görüldüğü gibi, Sonbahar mevsiminde sadece İstasyon 1 hiperötrofik olarak sınıflandırılırken, diğer tüm istasyonlar ötrofik olarak sınıflandırılmıştır. Sonbahar mevsimi dışında, istasyonlar arası trofik seviyelerin benzerliği, Mogan Gölü'nün küçük bir göl olması ile açıklanabilir. Sonbahar mevsiminde İstasyon 1'de trofik seviyenin hiperötrofik olarak saptanması, istasyonun şehre en yakın bölgede konumlanması ve etrafındaki sosyal tesislerin yoğunluğu nedeniyle antropojenik etkiye daha açık olması ile açıklanabilir.

Karbondioksit salınımı ve ötrofikasyon dereceleri arasındaki ilişkinin değerlendirmesinde, yapılan varyans analiz sonuçlarında, mevsimsel karbondioksit salınımı ($p<2,2 \text{ e-}16$), istasyon bazında karbondioksit salınımı ($p=2,161 \text{ e-}13$) ve

mevsim-istasyon etkileşimi bazında karbondioksit salınımı açısından ($<2,2 \times 10^{-16}$) anlamlı bir ilişki olduğu saptanmıştır. Karbondioksit salınımının mevsimsel farklılıklarına bakıldığında, tüm mevsimlerin birbirinden istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı ($p \leq 0,0001$) olduğu tespit edilmiştir. İstasyon bazındaki farklılıklarda, İstasyon 2 diğer istasyonlara göre farklılık ($p < 0,0001$ ve ortalama karbon) göstermiştir. Yine Şekil 4.12.'de gösterildiği gibi karbon salınımına, mevsim-istasyon etkileşimi grafiğinde de İstasyon 2'de yaz mevsiminde tespit edilen farklılık görülmektedir. İstasyon 2'deki karbondioksit salınımındaki bu farklılığın nedeni, ölçümlerin yapıldığı dönemde istasyon çevresinde gölün geri kalanından taşınan makrofitlerin yoğunluğunun diğer mevsimlere oranla ciddi anlamda yükselmiş olması ile açıklanabilir. Yaz mevsiminde İstasyon 2'deki bulanıklık değeri ilkbahara göre yüksek oranda artış göstermiştir. İstasyon 2'de ilkbahar ve yaz mevsimlerindeki bulanıklık değerleri de bu açıklama ile tutarlılık göstermiştir. Bu değerler sırasıyla; 4,21 NTU ve 6,35 NTU olarak ölçülmüştür. Yine İstasyon 2'de TP değerleri, ilkbahar mevsiminde 0,039 mg/L olarak ölçülmüşken, yaz mevsiminde bu değer 0,160 mg/L' olarak ölçülmüştür.

Bu tez çalışması kapsamında, ötrofik bir göl olan Mogan Gölü'nde güncel su kirlilik durumu, ötrofik açıdan önemli parametreler kapsamında tespit edilmiş ve gölün atmosfere salınan karbondioksit miktarına katkısı araştırılmıştır. Mogan Gölü'nde ilk kez yapılan bu çalışmada, trofik statü tespitlerinde, önceki çalışmalarla tutarlı sonuçlar elde edilmiş ve karbondioksit salınımı kapsamında tezin amacıyla örtüşen sonuçlara varılmıştır. Gölün genelinde trofik statünün çok fazla değişiklik göstermemesi, karbondioksit salınım miktarları bağlamında da sonuçları etkilemiştir. Ancak, trofik statü ve ortalama karbondioksit miktarlarında mevsimsel olarak beklenen sonuçlar elde edilmiştir. Bu tezde uygulanan metodolojinin, gelecekte yapılacak çalışmalarda, ötrofik göllerin karbondioksit emisyon ölçümleri kapsamında, yaygın olarak kullanılan gaz kromatografi yöntemine kıyasla, daha kolay uygulanabiliyor olması nedeniyle değerlendirilebilir.

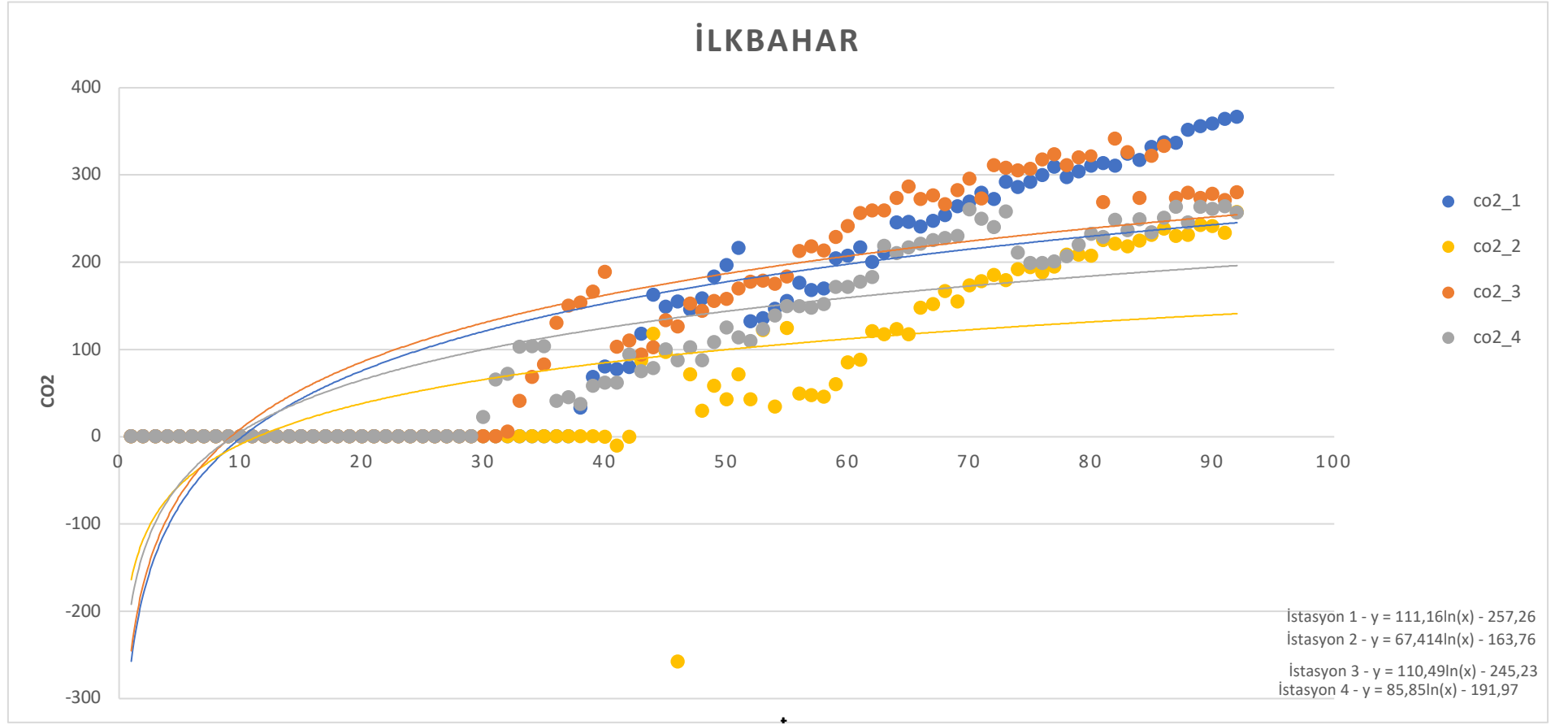
6. KAYNAKLAR

- Arı, H., Aslan, M., Armağan, B., Şanlıurfa Katı Atık Depolama Alanındaki Sera Gazı Emisyonu Değerlerinin Meteorolojik Verilerle Modellenmesi. *Türkey 2009 Türkiye’de Katı Atık Yönetim Sempozyumu*, İstanbul, 15-17 Haziran 2009, İstanbul, **2009**
- Balmer, M. B., Downing, J. A., Carbon dioxide concentrations in eutrophic lakes: undersaturation implies atmospheric uptake. *Inland Waters*, 1 (**2011**) 125.
- Beklioğlu, M., Bucak, T., Coppens, J., Bezirci, G., Tavşanoğlu, Ü. N., Çakıroğlu, A. İ., Levi, E.E., Erdoğan, Ş., Filiz, N., Özkan, K., Özen, A., Restoration of eutrophic lakes with fluctuating water levels: A 20-year monitoring study of two inter-connected lakes. *Water*, 9 (**2017**) 127.
- Binici, A., Pulatsü, S., Bursa, N., Mogan Gölü’nde (Ankara, Türkiye) Sediment Tarama Uygulamalarının Sedimentteki Ağır Metal Konsantrasyonları Açısından Değerlendirilmesi. *Çanakkale Onsekiz Mart University Journal of Marine Sciences and Fisheries*, 4 (**2021**) 159.
- Bridgewater, L.L., Standard methods for the examination of water and wastewater, Baird, R.B., Eaton, A.D., Rice, E. W. (Eds.), Vol.10. American Public Health Association. Washington, **2017**.
- Brown, T., Simpson, J., Determining the trophic state of your lake. *Watershed Protection Techniques, Urban Lake Management*, 3 (**2001**) 771.
- Buck, R. P., Rondinini, S., Covington, A. K., Baucke, F. G. K., Brett, C. M., Camoes, M. F., Milton, M.J.T., Mussini, T., Naumann, R., Pratt, K.W., Spitzer, P., Wilson, G. S., Measurement of pH. Definition, standards, and procedures (IUPAC Recommendations 2002). *Pure and applied chemistry*, 74 (**2002**) 2169.
- Burnak, S. L., Beklioğlu, M., Macrophyte-dominated clearwater state of Lake Mogan. *Turkish Journal of Zoology*, 24 (**2000**) 305.
- Carlson, R. E. A trophic state index for lakes 1. *Limnology and oceanography*, 22 (**1977**) 361.
- Civelekoğlu, G., Bıyık, Y. Ulaşım sektöründen kaynaklı karbon ayak izi değişiminin incelenmesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2 (**2018**) 157.
- Davidson, T. A., Audet, J., Svenning, J. C., Lauridsen, T. L., Søndergaard, M., Landkildehus, F., Jeppesen, E., Eutrophication effects on greenhouse gas fluxes from shallow-lake mesocosms override those of climate warming. *Global Change Biology*, 21 (**2015**) 4449.
- DelSontro, T., Beaulieu, J. J., & Downing, J. A., Greenhouse gas emissions from lakes and impoundments: Upscaling in the face of global change. *Limnology and Oceanography Letters*, 3 (**2018**) 64.

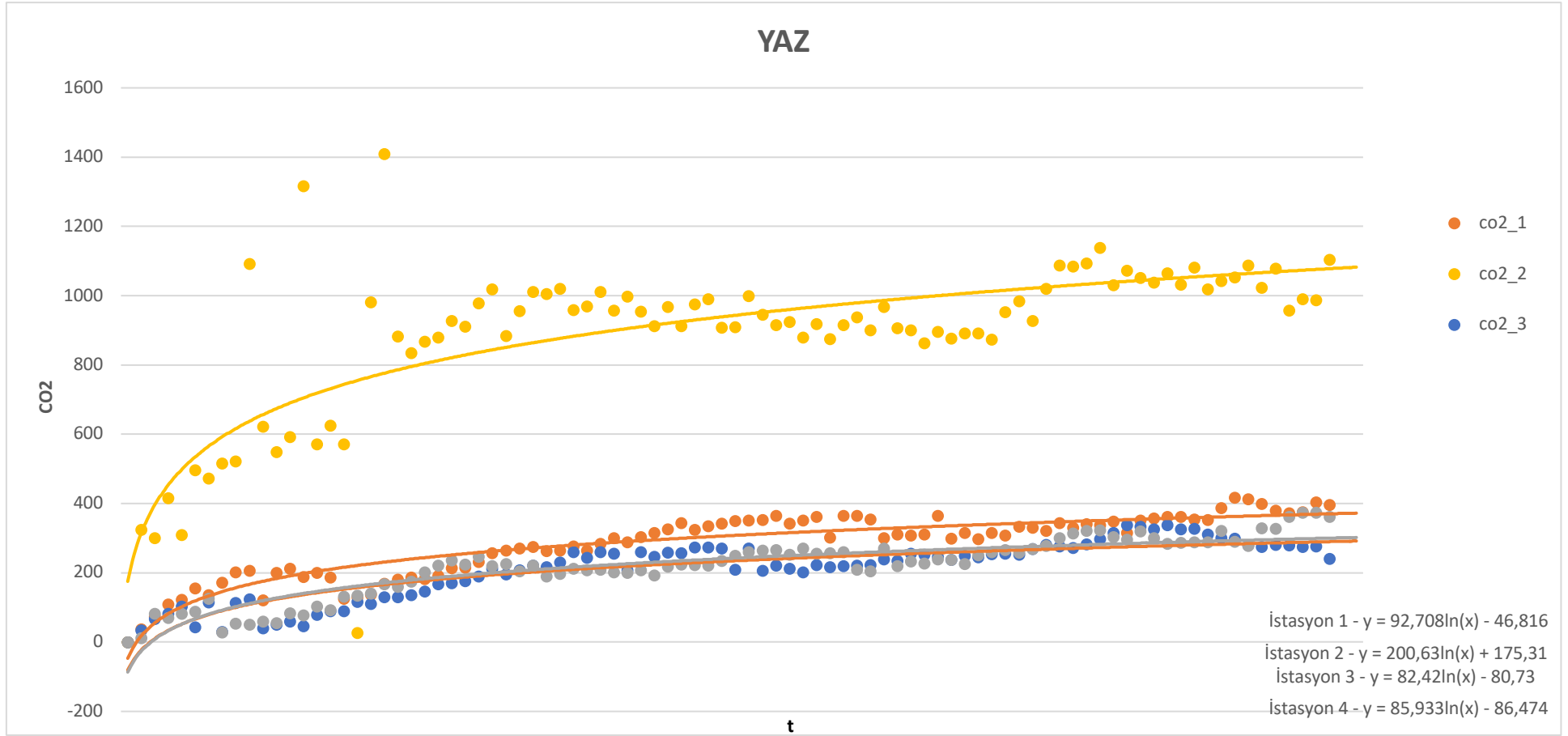
- European Commission, Directorate-General for Environment, The EU Water Framework Directive, Publications Office, **2014**.
- Fakıoğlu, Ö., Pulatsü, S., Mogan Gölü'nde (Ankara) Bazı Restorasyon Önlemleri Sonrası Dış Kaynaklı Fosfor Yükünün Belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 15 (**2005**) 63.
- Förster, S., Kuhlmann, B., Lindenschmidt, K. E., Bronstert, A., Assessing flood risk for a rural detention area. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8 (**2008**) 311.
- Gönüloğlu, A., Obalı, O., Phytoplankton Of Karamık Lake (Afyon) Turkey. *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series C Biology*, 4 (**1986**) 105.
- Gül A., Benzer, S., Saylar, Ö., Gül, G., Yılmaz, M., Mogan Gölü balık faunası. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19 (**2017**) 91.
- Gülhan, H., Dereli, R.K., Özgün, H., Erşahin, M. E., Öztürk, İ., İleri biyolojik atık su arıtma tesislerinde işletme parametrelerinin doğrudan sera gazı emisyon miktarı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24 (**2018**) 1117.
- IPCC, 2021: Technical Summary. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, United Kingdom and New York, **2021**.
- Kallis, G., Butler, D., The EU water framework directive: measures and implications. *Water policy*, 3 (**2001**) 125.
- Karakoç, G., Erkoç, F. Ü., Katırcıoğlu, H., Water quality and impacts of pollution sources for Eymir and Mogan Lakes (Turkey). *Environment International*, 29 (**2003**) 21.
- Kapan, C., Mogan Gölü(Ankara) Kirlilik İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, **2011**.
- Lenth R (**2022**). *_emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means_*. R package version 1.8.3, <<https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>>.
- Li, Y., Shang, J., Zhang, C., Zhang, W., Niu, L., Wang, L., & Zhang, H., The role of freshwater eutrophication in greenhouse gas emissions: A review. *Science of the Total Environment*, 768 (**2021**) 144582.
- Lund, J. W., Eutrophication. *Nature*, 214 (**1967**) 557.
- Manav, E., Yerli, S. V., An assessment on the trophic status of Lake Mogan, Turkey, *Fresenius Environmental Bulletin*, 17 (**2008**) 3.
- Mangıt, F., Mogan Gölü Trofik Statüsünün İzlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, **2007**.
- McCarthy, M. J., Lavrentyev, P. J., Yang, L., Zhang, L., Chen, Y., Qin, B., Gardner, W. S., Nitrogen dynamics and microbial food web structure during a summer cyanobacterial bloom in a subtropical, shallow, well-mixed, eutrophic lake (Lake Taihu, China). *Hydrobiologia*, 581 (**2007**) 195.
- Miljojkovic, D., Trepsic, I., Milovancevic, M., Assessment of physical and chemical indicators on water turbidity. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 527 (**2019**) 121171.

- Mitchell, J. F.B., The "Greenhouse" Effect and Climate Change, *Reviews of Geophysics*, 27 (1989) 115.
- Moss, B., The art and science of lake restoration. *Hydrobiologia*, 581 (2007) 15.
- Pulatsü, S., Göllerde Ötrofikasyona İlişkin Model Uygulamaları. *Çanakkale Onsekiz Mart University Journal of Marine Sciences and Fisheries*, 5 (2022) 188.
- R Core Team (2020). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Schueler, T., Simpson, J., Introduction: Why urban lakes are different. *Watershed Protection Techniques*, 3 (2001) 747.
- SENSIRION, What types of NDIR sensors exist and how do they work, https://sensirion.com/media/documents/9E7DA521/627C2C8D/CD_IN_SCDxx_TransmissTra_and_photoacoustic_NDIR_sensing_D1.pdf (Erişim tarihi: **8 Eylül 2023**).
- Sun, H., Lu, X., Yu, R., Yang, J., Liu, X., Cao, Z., Zhang, Z., Li, M., Geng, Y., Eutrophication decreased CO₂ but increased CH₄ emissions from lake: A case study of a shallow Lake Ulansuhai. *Water Research*, 201 (2021) 117363.
- Taşeli, B. K., Influence of influent tributaries on water quality changes in Lake Mogan, Turkey. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 11 (2006) 149.
- Uğurlu, Ö., Somuncu, M., Mogan ve Eymir Gölleri ekosistem hizmetlerinin Ankara kenti için öneminin değerlendirilmesi. 1. İstanbul Uluslararası Coğrafya Kongresi, 20-22 Haziran, İstanbul, **2019**.
- UN, United Nations Climate Action What is Climate Change, <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-climate-change> (Erişim tarihi: **17 Temmuz 2022**).
- Yerli, S. V., Kıvrak, E., Gürbüz, H., Manav, E., Mangıt, F., Türkecan, O., Phytoplankton community, nutrients and chlorophyll a in Lake Mogan (Turkey); with comparison between current and old data. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 12 (2012) 95.

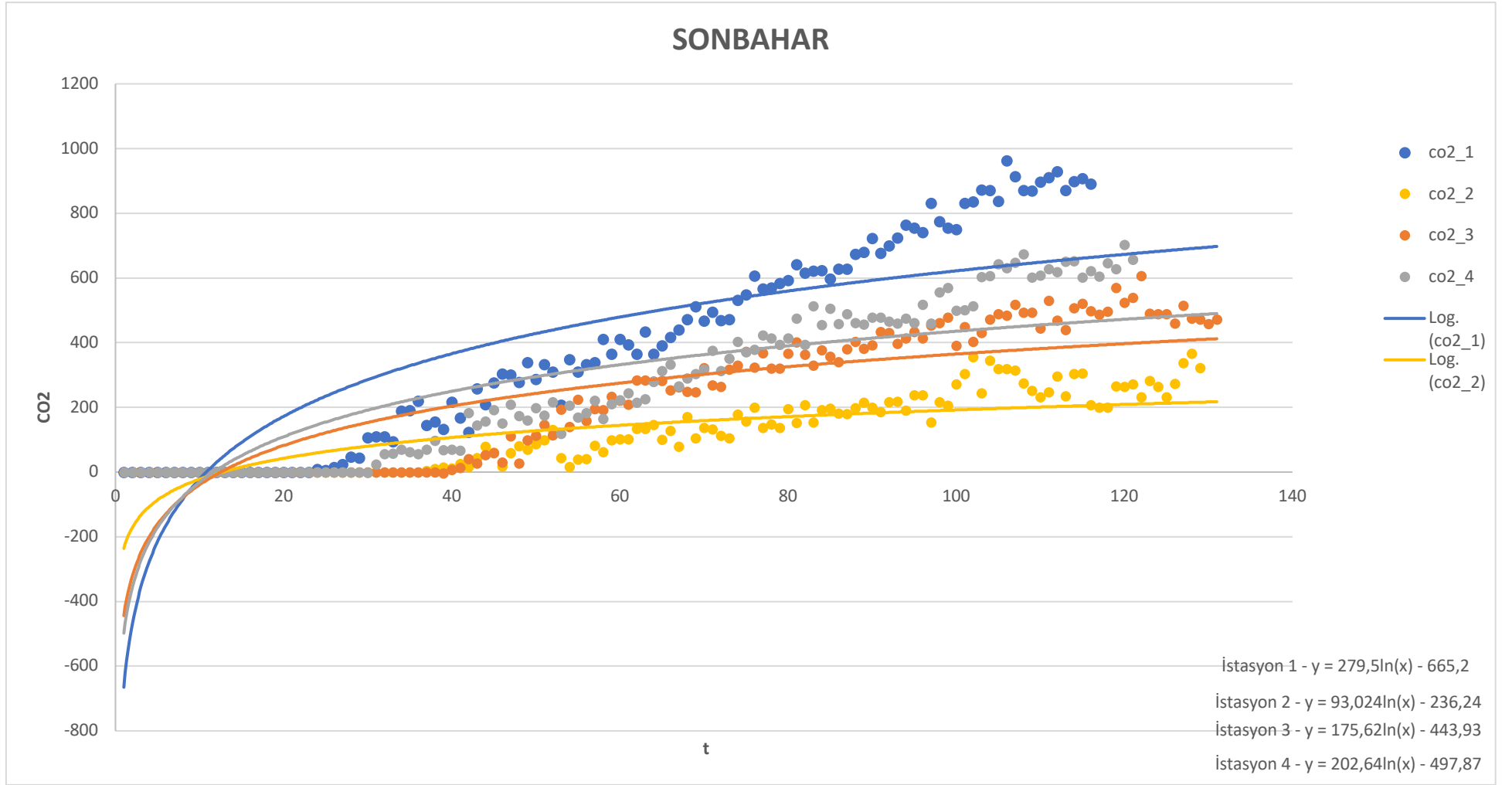
EK -1 Mevsimsel karbondioksit değerlerinin logaritmik artış grafikleri



Ek-1a. İlkbahar mevsimi CO₂ artış grafiği



Ek-1b. Yaz mevsimi CO₂ artış grafiği



Ek-1c. Sonbahar mevsimi CO₂ artış grafiği