

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**SIĞ ÖTROFİK MOGAN GÖLÜ'NDE SEDİMENT-SU ARA YÜZEYİNDE
AZOT DİNAMİKLERİ**

Seda ATLIĞ

SU ÜRÜNLERİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2023**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

SİĞ ÖTROFİK MOGAN GÖLÜ'NDE SEDİMENT-SU ARA YÜZEYİNDE AZOT DİNAMİKLERİ

Seda ATLIĞ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Su Ürünleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Akasya TOPÇU

Bu çalışmanın amacı sığ ve ötrofik bir göl olan Mogan Gölü'nde sediment-su ara yüzeyinde azot dinamiklerinin; ıslak ve kuru dönemdeki değişimlerinin araştırılmasıdır. Bu kapsamda gölde kirlilik girdisinin fazla olacağı ön görülen altı adet istasyon belirlenmiştir. Araştırma alanında ve laboratuvar ortamında fiziksel ve kimyasal analizler yapılmıştır. Tez kapsamında, gölde daha önce yapılan ötrofikasyon ve sediment bağlantılı çalışmalardan farklı olarak, sediment-su arayüzeyinde azot dinamiklerinin (amonyum ve nitrat salınım veya tutulumunu pozitif ve/veya negatif yöndeki) kantitatif olarak tahmini amaçlanmıştır. Sedimentten amonyum ve nitrat salınım değerleri sırasıyla amonyum salınımı için $-9,16-0,36 \mu/m^2.gün$ arasında değişerek en düşük değerini 2019 Temmuz ayında 2. istasyonda alırken en yüksek değerini ise 2018 Ekim ayında 6. istasyonda; nitrat salınımı için $-67,2 - 35,16 \mu/m^2.gün$ arasında değişerek en düşük değerini 2018 Ekim ayında 3. istasyonda en yüksek değerini ise yine aynı ayda 5. istasyonda almıştır. Mogan Gölü sedimentinde azot salınım tahminleri mevsimsel veya yersel açıdan düzenli bir değişim sergilememiştir. Gölde azot salınım düzeyi gölün besin düzeyini etkileyecek ölçüde yüksek bulunmamakla beraber, azot tutulum oranının ciddi düzeyde yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu araştırma ile Mogan Gölü'nde sedimentte azot fraksiyonlarının düzenli takip edilmesi ve iklim değişikliği göz önünde bulundurularak dış kaynaklı kirlilik girdilerinin azaltılması gerektiği kanısına varılmıştır.

Ocak 2023, 97 sayfa

Anahtar Kelimeler: Azot dinamikleri, Mogan Gölü, ötrofikasyon, sediment

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

NITROGEN DYNAMICS OF SEDIMENT-WATER INTERFACE IN SHALLOW EUTROPHIC MOGAN LAKE

Seda ATLIĞ

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Fisheries and Aquaculture

Supervisor: Prof. Dr. Akasya TOPÇU

In this study, the nitrogen dynamics at the sediment-water interface in Lake Mogan, which is a shallow and eutrophic lake; the study was carried out in order to investigate the changes in two periods of the year with different climatic conditions, characterized as wet and dry periods. Six stations, which are thought to have high pollution input, were determined in the lake. In the laboratory environment; analyzes were made in sedimentary water, sediment and sediment pore water. In addition, the effect of oxygen on nitrogen fractions in the sediment was also found to be binding. Within the scope of the PhD thesis, unlike the previous eutrophication and sediment related studies in the lake, it was aimed to quantitatively estimate the nitrogen dynamics (positive and/or negative aspects of ammonium and nitrate release or uptake) at the sediment-water interface. Ammonium and nitrate release values from the sediment changed between $-9,16 - 0,36 \mu/m^2.day$ for ammonium release, respectively while the lowest value was at the 2nd station in July 2019, and the highest value was at the 6th station in October 2018; for nitrate release, it changed between $-67,2 - 35,16 \mu/m^2.day$, and had the lowest value in October 2018 at the 3rd station and the highest value in the 5th station in the same month. Nitrogen release estimates in the Lake Mogan sediment did not show a regular seasonal or local variation. Although the level of nitrogen release in the lake is not high enough to affect the nutrient level of the lake, it has been determined the rate of nitrogen retention is seriously high. With this research, it was determined that the nitrogen fractions in the sediment of Lake Mogan should be monitored regularly and external pollution inputs should be reduced by considering climate change.

January 2023, 97 Pages

Key Words: Nitrogen Dynamics, Mogan Lake, eutrophication, sediment

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Çalışmalarımı yönlendiren, akademik hayatta yıllar önce elimden tutarak bana çalışma disiplini aşılarken, insani ve ahlaki duruşuyla öğrencisi olmaktan ömrüm boyunca gurur duyacağım danışman hocam Sayın Prof. Dr. Akasya TOPÇU'ya tez çalışmam süresince bir an bile esirgemediği bilgi, destek ve sabrı için teşekkürleri bir borç bilirim.

Her konuda yol göstericiliği ile beni aydınlatan, bilgi ve birikimlerini hep aktaran sayın hocam Prof. Dr. Serap PULATSÜ'ya, doktora tez izleme komitesinde yer alarak kıymetli fikirleriyle destek olan ve çalışmamın zenginliğini sağlayan sayın hocam Prof. Dr. Hikmet KATIRCIOĞLU'na içtenlikle teşekkür ederim.

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Su Ürünleri Mühendisliği Bölümü değerli hocalarıma ve idari kadroya verdikleri destekler için teşekkür ederim. Öğrencilik dönemim boyunca verdikleri destek için Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü yönetimine ve idari çalışanlarına teşekkür ederim.

Doktora tez çalışmamı destekleyen Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım (Proje No: 19L0447006). Hizmet alımı yaptığımız ODTÜ Merkez Laboratuvarı Yönetimine ve laboratuvar çalışanlarına teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında sonsuz sabır, anlayış ve özveri ile yanımda olan canım annem, canım babam ve her zaman motive olmamı sağlayan canım ablam Prof. Dr. Seçil KARAKOCA NEMLİ'ye, her zaman desteği ile beni güçlendiren sevgili eşim Ali Serdar ATLIĞ'ya sonsuz teşekkür ederim. Doktora tez çalışmamın, canım kızım Defne Naz ATLIĞ'ya bilimin ışığından ayrılmaması adına yol gösterici olmasını dilerim.

Seda ATLIĞ

Ankara, Ocak 2023

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1 Göllerde Ötrofikasyon	5
2.2 Göllerde Sedimentin Önemi	6
2.3 Sedimentte Azot Döngüsü	7
2.4 Sedimentte Azot ve Fosfor Fraksiyonları	17
2.5 Göllerde Sedimentin Fizi-kokimyasal ve Biyokimyasal Özellikleri	24
2.6 Sediment ve Sediment Gözenek Suyunda pH.....	25
2.7 Göllerde Besin Elementi Döngüsü	27
2.8 Mogan Gölü'ne İlişkin Çalışmalar	29
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	32
3.1 Materyal	32
3.2 Yöntem	35
3.2.1 Saha çalışması.....	35
3.2.1.1 Sediment örneklerinin alınması	35
3.2.1.2 Sedimet üstü suyun alınması	36
3.2.2 Laboratuvar çalışması	36
3.2.2.1 Sediment üstü su analizleri.....	36
3.2.2.2 Sedimet gözenek suyunun eldesi ve analizleri	36
3.2.2.2.1 pH tayini ve redoks potansiyeli.....	37
3.2.2.2.3 Sedimente ilişkin analizler.....	37
3.2.2.2.3.1 Su içeriğinin tayini (%).....	37
3.2.2.2.3.2 Organik madde tayini (OM)	37
3.2.2.2.3.3 Toplam karbon(%)	37

3.2.2.3.4 Toplam azot(%)	37
3.2.2.4 Sedimentten amonyum ve nitrat salınımının hesaplanması	38
3.2.3 İstatistiki analizler.....	38
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	39
4.1 Mogan Gölü'nde Sediment Üstü Su Analizlerine İlişkin Sonuçlar	39
4.1.1 Çözünmüş oksijen	39
4.1.2 pH	39
4.1.3 Su sıcaklığı.....	40
4.1.4 Redoks	40
4.1.5 NH ₃ -N	40
4.1.6 Filtreli sediment üstü sudaki NH ₃ -N.....	41
4.1.7 NH ₄ -N	41
4.1.8 Filtreli sediment üstü sudaki NH ₄ -N.....	41
4.1.9 NO ₃ -N	42
4.1.10 Filtreli sediment üstü sudaki NO ₃ -N.....	42
4.1.11 Toplam ortofosfat.....	42
4.1.12 Toplam fosfor	43
4.1.13 Toplam filtre edilebilir ortofosfat.....	43
4.1.14 Toplam filtre edilebilir fosfor.....	43
4.2 Mogan Gölü'nde Sediment Gözenek Suyu Analizlerine İlişkin Sonuçlar	54
4.2.1 NH ₃ -N	54
4.2.2 NH ₄ -N	54
4.2.3 NO ₃ -N	55
4.2.4 Toplam filtre edilebilir ortofosfat.....	55
4.2.5 Toplam filtre edilebilir fosfor.....	55
4.2.6 pH	56
4.3 Mogan Gölü'nde Sediment Analizlerine İlişkin Sonuçlar.....	61
4.3.1 % Su içeriği.....	61
4.3.2 Redoks değeri	61
4.3.3 Organik madde.....	61
4.3.4 Toplam organik karbon.....	62
4.3.5 Toplam azot	62
4.4 Mogan Gölü'nde Sedimentte Amonyum ve Nitrat Salınımına İlişkin Bulgular	66

4.4.1 Amonyum salınımı	66
4.4.2 Nitrat salınımı.....	67
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	71
5.1 Mogan Gölü’nde Sediment-Su Ara Yüzeyinde Azot Dinamiği ve Etkili Faktörlere İlişki Değerlendirmeler	71
5.2 Mogan Gölü’nün İyileştirilmesi Yönündeki Sürdürülebilir Yönetimine İlişkin Öneriler	83
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ.....	97



SİMGELER DİZİNİ

%	Yüzde konsantrasyon
‰	Binde konsantrasyon
°C	Santigrat
Ca	Kalsiyum
m	Metre
g	Gram
L	Litre
mg/L	Litrede 1 miligram
µg	Mikrogram
km	Kilometre
km ²	Kilometrekare
CO ₂	Karbondioksit
O ₂	Oksijen
Ç O ₂	Suda çözünmüş oksijen
HCl	Hidroklorik Asit
NaOH	Sodyumhidroksit
H ₂ SO ₄	Sülfirik Asit
Nm	Nanometre
Rpm	Dakikada Devir
Fe	Demir
Φ	Parçacık akı yoğunluğu (porozite)
N ₂	Azot gazı
NO ₃ ⁻	Nitrat
NO ₃ -N	Nitrat azotu
NH ₃	Amonyak
NH ₄	Amonyum
NH ₄ -N	Amonyum azotu
pH	H ⁺ iyonu konsantrasyonunun 10 tabanında (-) logaritması
mV	Redoks potansiyeli

Kısaltmalar

OM	Organik madde
TOC	Toplam organik karbon
TN	Toplam azot
KA	Kuru ağırlık

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Araştırma alanı uydu görüntüsü.....	33
Şekil 3.2 Mogan Gölü'nde araştırma istasyonlarına ait koordinat verileri	34
Şekil 4.1 Sediment üstü su analizlerinde O ₂ değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması	45
Şekil 4.2 Sediment üstü su analizlerinde pH değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması.....	45
Şekil 4.3 Sediment üstü su analizlerinde su sıcaklığı değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması	46
Şekil 4.4 Sediment üstü su analizlerinde redoks potansiyeli değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması	46
Şekil 4.5 Sediment üstü suya ait azot fraksiyonlarının NH ₃ -N değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması	48
Şekil 4.6 Sediment üstü suya ait azot fraksiyonlarının NH ₃ -N filtreli değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması.....	48
Şekil 4.7 Sediment üstü suya ait azot fraksiyonlarının NH ₄ -N değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması	49
Şekil 4.8 Sediment üstü suya ait azot fraksiyonlarının NH ₄ -N filtreli değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması.....	49
Şekil 4.9 Sediment üstü suya ait azot fraksiyonlarının NO ₃ -N değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması	50
Şekil 4.10 Sediment üstü suya ait azot fraksiyonlarının NO ₃ -N filtreli değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması.....	50
Şekil 4.11 Sediment üstü suya ait azot fraksiyonlarının toplam ortofosfat (TO) değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması.....	52
Şekil 4.12 Sediment üstü suya ait azot fraksiyonlarının toplam fosfor (TF) değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması.....	52
Şekil 4.13 Sediment üstü suya ait azot fraksiyonlarının toplam filtre edilebilir ortofosfat (TFO) değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması	53
Şekil 4.14 Sediment üstü suya ait azot fraksiyonlarının toplam filtre edilebilir fosfor (TFF) değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması	53
Şekil 4.15 Sediment gözenek suyunda istasyonlar arası NH ₃ -N değişiminin kuru ve ıslak dönemde karşılaştırılması	58
Şekil 4.16 Sediment gözenek suyunda NH ₄ -N değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması.....	58

Şekil 4.17 Sediment gözenek suyunda NO ₃ -N değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması.....	59
Şekil 4.18 Sediment gözenek suyunda toplam filtre edilebilir ortofosfat (TFO) değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması	59
Şekil 4.19 Sediment gözenek suyunda toplam filtre edilebilir fosfor (TFF) değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması.....	60
Şekil 4.20 Sediment gözenek suyunda pH değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması.....	60
Şekil 4.21 Sedimentte % su içeriğinin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması	64
Şekil 4.22 Sedimentte redoks potansiyelinin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması	64
Şekil 4.23 Sedimentte organik madde içeriğinin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması	65
Şekil 4.24 Sedimentte toplam organik karbon (TOC) içeriğinin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması.....	65
Şekil 4.25 Sedimentte toplam azot içeriğinin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması	66
Şekil 4.26 Mogan Gölü'nde amonyum ve nitrat salınım tahminlerinin Ekim 2018 tarihinde istasyonlara bağlı değişimi.....	68
Şekil 4.27 Mogan Gölü'nde amonyum ve nitrat salınım tahminlerinin Temmuz 2019 tarihinde istasyonlara bağlı değişimi.....	69
Şekil 4.28 Sedimentte amonyum salınımının istasyonlar arası ıslak ve kuru dönem karşılaştırması	70
Şekil 4.29 Sedimentte nitrat salınımının istasyonlar arası ıslak ve kuru dönem karşılaştırması	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Mogan Gölü’nde belirlenen istasyonlarda sediment üstü suya ait çözünmüş oksijen, pH, su sıcaklığı ve redoks değerlerine ilişkin verilerin ıslak ve kuru dönemlere göre değişimi	44
Çizelge 4.2 Mogan Gölü’nde belirlenen istasyonlarda sediment üstü suya ait azot fraksiyonlarına ilişkin verilerin ıslak ve kuru dönemlere göre değişimi	47
Çizelge 4.3 Mogan Gölü’nde belirlenen istasyonlarda sediment üstü suya ait fosfor fraksiyonlarına ilişkin verilerin ıslak ve kuru dönemlere göre değişimi.....	51
Çizelge 4.4 Sediment gözenek suyuna ilişkin veriler	57
Çizelge 4.5 Mogan Gölü’nde belirlenen istasyonlarda sedimente ait parametrelerin ıslak ve kuru dönemlere göre değişimi	63
Çizelge 4.6 Mogan Gölü’nde amonyum ve nitrat salınım tahminlerinin Ekim 2018 ve Temmuz 2019 aylarında istasyonlara bağlı değişimi	67

1. GİRİŞ

Göl ve göletler gibi tatlı su ekosistemlerinde sediment, besin düzeyini iç kaynaklı besin elementi yükü oluşturarak doğrudan etkileyebilmektedir. Azot ve fosfor gibi besin elementlerinin sucul sistemlere yüksek miktarlarda girişinin ötrofikasyona ve alg/makrofit biyomasında artışa neden olduğu bilinen bir olgudur.

Azot canlı yapısının en önemli ve vazgeçilmez bir bileşeni olmasının yanı sıra sucul ekosistemler için de aynı öneme sahiptir. Aminoasit ve protein sentezi için gerekli olan azotu, ototrof su bitkileri amonyum ve nitrat iyonlarından diğer su canlıları ve balıklar ise organik bileşiklerden karşılamaktadır. Amonyak tuzları ve nitratlar sürekli olarak canlıların metabolik atıkları ve ölümleriyle meydana gelen organik azot bileşiklerinin parçalanması ile yenilenir (Uslu ve Türkman 1987, Chapman 1996).

Azot iyonlarının birçoğu suda iyi çözünebilir ve sedimentten suya kolaylıkla geçiş yapabilir formdadır. Azotun sedimentten suya geçişi ya konstrasyon farkları yoluyla difüzyonel olarak ya da sedimentteki organizmaların oluşturduğu karışımla meydana gelir. Mavi-yeşil algler azot bileşiklerinin sediment-su ara yüzeyinden suya geçişini sağlar. Amonyumun sedimentteki absorpsiyonu ise sedimentin yüksek düzeydeki organik madde miktarı ile ilişkilidir. Tüm bu olaylar sediment-su arasındaki azot döngüsüne neden olmaktadır. Sedimentte nitratın moleküler azota (N_2) ve sonrasında azot okside (N_2O) indirgenmesi denitrifikasyon olarak tanımlanır. Mikrobiyal ortamda gerçekleşen bu indirgenmede, nitrat oksijen yokluğundaki son elektron alıcısı olarak kullanılır (Delince 1992).

Göl ve göletler gibi durgun tatlı su sistemlerinin ötrofikasyonu; sediment-su ara yüzeyinde oksijen seviyesinin düşmesi, su kalitesinin bozulması ve azot-fosfor başta olmak üzere besin elementi artışı ile karakterize edilir. Sedimentte azot bileşikleri genel olarak, organik ve inorganik formdadır; organik azot ölü organik madde ile ilişkili, inorganik azot ise genellikle amonyum, nitrit ve nitrat iyonları şeklinde ortamda bulunmaktadır. Sedimentteki azot dinamikleri kapsamında pozitif yüklü bir iyon olan amonyumun sedimentteki partiküllere adsorpsiyonu sedimentin organik madde içeriği

ile ilişkili olup organik maddece zengin sedimentler azotu bünyelerinde tutarak biriktirirler. Sulak alanlarda makrofit varlığı, çeşitli azot formlarının sedimentasyonu ve tekrar süspanse olması şeklinde azot dinamiğinin yönünü belirlemektedir. Sedimentte organik azotun birikimi canlı bitki ve organizmalar için azotun kullanılabilirliğini azaltırken, dekompozisyon esnasında biyomastan azotun salınımı, besin elementlerinin tekrar kullanılabilir olmasına imkân sağlamaktadır (Delince 1992, Hakanson ve Jansson 2002).

Tatlı su ekosistemlerindeki organik yüzey sedimentleri genellikle % 95-99 oranında su içerir, sediment partikülleri arasındaki boşluğu dolduran ve sediment partiküllerini de içerisine alan su, sediment gözenek suyu olarak tanımlanır. Çözünmüş haldeki iyonlar sediment gözenek suyunda serbest şekilde ya da kolloidlere tutunmuş halde bulunur (Delince 1992). Sediment gözenek suyu sedimentten salınım yapan azot ve/veya fosfor besin yükünün hesaplanması açısından önem taşımaktadır.

Azot döngüsünün bileşenleri olan nitrifikasyon ve denitrifikasyon olayları sıcaklığa bağlı olup sıcaklığın yüksek olduğu dönemlerde nitratın, azotun gaz formlarına (N_2 ve N_2O) ve amonyuma denitrifikasyonu sediment gözenek suyundaki nitrat düzeyinin de düşmesine yol açmaktadır (Serpa vd. 2007).

NO_3 terminal bir elektron alıcısıdır ve organik karbon da denitrifikasyon bakterileri için bir elektron donorü olarak hareket ettiğinden, azot ve karbon konsantrasyonu genellikle denitrifikasyon işleminin birincil belirleyicileri olarak kabul edilir (Wallenstein vd. 2006).

Türkiye göllerinde ötrofikasyon çalışmaları kapsamında, sedimentin yeri ve öneminin belirlenmesi ile sedimentteki besin elementi içeriğinin ötrofikasyon sürecindeki rolü ve etkisi üzerine yapılacak bilimsel çalışmalar önem taşımaktadır. Türkiye’de Ramsar’a aday gösterilen önemli sulak alanlardan biri olan Mogan Gölü, Gölbaşı Özel Çevre Koruma Bölgesi sınırındadır. Mogan Gölü’nde (Ankara) Özel Çevre Koruma Bölgesi ilan edildiği 1990 yılı öncesi ve sonrasında su kalitesini belirlemeye yönelik çalışmalar yürütülmüştür (Burnak ve Beklioğlu 2000, Pulatsü ve Karabacak 2003).

Mogan Gölü'nde Temmuz 2004-Haziran 2005 tarihleri arasında fosfor salınımının tahmini üzerine yürütülen çalışmada, dış kaynaklı fosfor yükünün azaltılmasını izleyen, düşük düzeyde olduğu tahmin edilen ve sedimentten fosfor salınımı ile karakterize edilen iç kaynaklı fosfor yükünün etkin hale geçebileceği belirtilmiştir (Topçu ve Pulatsü 2008). Araştırma sonrasında ise Mogan Gölü'nde yerel yönetim tarafından yapılan, öncelikli olarak dip sedimenti uzaklaştırma çalışmalarını kapsayan bazı göl yönetim uygulamaları yürütülmüştür. Sedimentin kimyasal kompozisyonu ve sedimentteki fosfor hareketliliğinin belirlenmesinin yanı sıra bu kapsamdaki güncel verinin önceki araştırma sonuçlarıyla karşılaştırılmasını içeren bir başka çalışma; fosfor salınım değerleri (0,1754 ile 1,1249 mg/m².gün) açısından gölde mevcut yönetim uygulamalarının uygun olmasının yanı sıra sedimentin adsorpsiyon kapasitesinin belirlenerek kritik değerin saptanması gerekliliğini ortaya koymuştur (Topçu ve Pulatsü 2017).

Doktora tezi kapsamında Mogan Gölü'nde daha önce yapılan ötrofikasyon ve sediment bağlantılı çalışmalarda dikkate alınmayan sediment-su ara yüzeyindeki azot dinamiklerinin (amonyum ve nitrat salınım veya tutulumunu pozitif ve/veya negatif yöndeki) kantitatif olarak tahmini amaçlanmış olup iklim değişikliği dikkate alındığında göldeki su-sediment kalitesinin sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından uzun dönemli izleme çalışmaları bir gerekliliktir. Sedimentin çeşitli azot formlarının sedimentasyonu ve tekrar süspansiyonu şeklinde ifade edilen azot dinamiğinin ortaya konmasına dair bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu amaç doğrultusunda ana hedefler şu şekilde belirlenmiştir;

- i. Sediment gözenek suyunun eldesi ve sediment gözenek suyunda amonyum ve nitrat düzeyleri ile pH değerlerinin saptanması,
- ii. Sediment üstü su ve sediment gözenek sularına ilişkin amonyum ve nitrat konsantrasyonları ile sedimentin su içeriği ve sıcaklığa bağlı difüzyon katsayısının kullanılarak sedimentteki amonyum ve nitrat dinamiğinin tahmini,
- iii. Sedimentteki amonyum ve nitrat dinamiğini kontrol eden su sıcaklığı, çözünmüş oksijen ve pH gibi bazı ana faktörlerin etkisinin ortaya konmasıdır.

Bulgular ışığında gölün iyileştirilmesi amacıyla sedimente ilişkin yönetim stratejileri ortaya konmuştur. Bu araştırma ile Mogan Gölü sedimentindeki azot fraksiyonları saptanarak sedimentin azot (salınım/tutulum) dinamiğine ilişkin ilk bilimsel veri elde edilmiştir.

Bu çalışmanın sürdürülebilir çevre yönetimi ve ötrofik göllerde uygulama yöntemlerine katkı sağlamasının yanı sıra yöntem ve sonuçlara ilişkin değerlendirmeler, ötrofikasyon riski altındaki tüm iç su, kıyısal ve denizel ekosistemler için de yorumda kullanılabilecektir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Göllerde Ötrofikasyon

Durgun sucul sistemlerde ötrofikasyon çalışmaları kapsamında, sedimentin yerinin ve öneminin belirlenmesi ve sediment-su ara yüzeyindeki besin elementi dinamiklerinin ötrofikasyon sürecindeki rolü ve etkisi üzerine yapılacak bilimsel çalışmalar önem taşımaktadır. Ötrofikasyon, makrofitlerin kaybına ve su içinde türbiditeye neden olan dünya çapında bir sorundur. Bu sorun genel olarak aşırı fosfor yüklenmesine bağlansa da, yüksek azot konsantrasyonlarının makrofitlerin büyümesi üzerine etkileri olduğu Yu ve arkadaşları (2015) tarafından yapılan çalışmada açıklanmıştır.

Sığ ve ötrofik göllerde ötrofikasyon oluşumu ve cyanobacter (siyanobakteri) çoğalması dünya çapında coğrafya gözetmeksizin birçok gölün ekolojik sağlığını etkilerken sürdürülebilir ekosistem gelişimi için de büyük bir tehdit haline gelmiştir (Bunting vd. 2007, Stone 2011, Yamamoto 2011, Cozar vd. 2012, O'Neil vd. 2012, Higgins vd. 2017, Matisoff vd. 2017, Payton vd. 2017, Wu vd. 2019).

Göllerde yeraltı suyu deşarjı, tatlı sular için en büyük tehditlerden biri olan ötrofikasyonu tetikleyecek oranda besin taşırken, göllerdeki besin elementi konsantrasyonuna odaklanan araştırmalarda sıklıkla göz ardı edilmiştir. Tipik olarak bozulmamış yeraltı suyunun düşük fosfor konsantrasyonları genellikle gübre veya kanalizasyon gibi antropojenik kaynaklar nedeniyle artış gösterir. Doğal olarak mevcut organik maddenin mineralizasyonu da yeraltı suyundaki fosfor derişimini artırabilir. Redoks potansiyelinin düşmesi reaktif sediment-su ara yüzeyine fosfor taşınmasını kolaylaştırmaktadır. Yeraltı suyundaki antropojenik azot kaynaklarının ortamdan uzaklaştırılması sürecinde nitrat gaz halindeki moleküler azota dönüşebilmektedir (Xhang vd. 2008).

Havens ve arkadaşları (2001) tarafından yapılan bir çalışmada sığ göllerin ötrofikasyonu ve besin dinamikleri çalışılmıştır. Çalışma alanı olarak birbirinden bağımsız üç farklı

lokasyon seçilmiştir. Kasumigaura (Japonya), Donghu (Çin) ve Okeechobee (A.B.D.). Göller noktasal ve noktasal olmayan kirlilik kaynağından büyük ölçüde etkilenmiş olup, besin dinamikleri karşılaştırılmış ve antropojenik kirlilik etkisi araştırılmıştır. Her üç gölde nispeten büyük yüzölçümüne sahip ($>30 \text{ km}^2$), çok sığ (ortalama derinlik $<4 \text{ m}$) ve ötrofiktir. Göllerde besin dinamiklerini etkileyen en önemli faktör azot fiksasyonu, yeniden süspanse edilmiş sedimentlerden kaynaklanan ışık sınırlaması ile kültür balıkçılığında kaynaklanan alg üretimidir. Sonuç olarak tüm bu etkileşimler basit amprik modellerin kullanımı ile göl içindeki toplam fosfor ve alg biyokütlesini tahmin etmek için geliştirilmiştir. Etkili yönetim modelinde göller açısından bir genelleme üzerinden yorumlama yapıldığından her bir göle özel araştırma yürütmek bir gereklilik olarak vurgulanmıştır. Ayrıca sığ ve ötrofik göllerde yönetim modellerinin doğru tahminleri nispeten karmaşık deterministik modelleme araçlarının kullanımını gerektirmektedir. Bu araştırma kapsamında göllerde amprik modellerin kullanımı ile sığ göllerin dış kaynaklı besin yüklemesine karşı tepkileri tahmin edilmiştir. Antropojenik etkiler, balık üretim faaliyetleri, sığ göle özgü heterojenite besin+klorofil ilişkisini yüksek oranda etkilediği bildirilmiştir.

2.2 Göllerde Sedimentin Önemi

Sediment, alıcı ortamlara aşındırıcı işlemlerle taşınabilen ve birikebilen katı inorganik ve organik malzemelerin tamamını oluşturur. Bir gölün veya rezervuarın sediment bileşimi coğrafyaya, arazi örtüsüne ve yukarı havzasındaki toprak tipine bağlıdır. Aşındırma neticesinde toplanan bu katı parçacıklar zamanla sediment katmanlarında birikerek göl hacmini azaltır ve gölün kullanımını; gölün içinde ve çevresinde yaşayan tüm yaşam formları için zararlı hale getirebilir. Azot ve fosfor gibi besin elementleri göllerde ve akarsularda alglerin büyümesi için gereklidir. Göllerde, sualtı bitkilerinin büyümesi ve üretimi bu bileşiklerin varlığına bağlı olduğundan, azot ve fosfor konsantrasyonları doğrudan rezervuarın biyolojik üretkenliği ile ilişkilidir. Ötrofikasyon, sucul ekosistemler için koku ve tat sorunları oluştururken çözünmüş oksijen düzeyinde azalma ile balık ve diğer organizmalarda hastalık ve ölüm gibi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Bu bağlamda; göllerde ve rezervuarlardaki azot, fosfor gibi besin elementleri konsantrasyonları, su kütlesinin sağlığı hakkında bilgi

sağlarken yönetim kararları için iyi bir temel oluşturabilmektedir. Sediment, besin elementlerinin tekrar suya salınımındaki süreçte bazen kaynak bazen de tuzak olarak rol oynamaktadır. Sedimentte azot ve fosfor fraksiyonlarının analizi (Nitrat-azotu: $\text{NO}_3\text{-N}$, amonyum-azotu: $\text{NH}_4\text{-N}$ ve fosfat-fosforu: $\text{PO}_4\text{-P}$) uygun yöntemlerle belirlenebilmektedir (Kelsey, 2015).

Zheng vd. (2015), rüzgârın etkisi altındaki Taihu Gölü'nde sedimentin tekrar suya süspansiyonuna etki eden faktörleri araştırmışlardır. Sedimentin suya süspansiyonunun; dalga ve akıntıların kombine etkisine, sedimentin tanecik boyutuna-su içeriğine, biyostabilizasyon gibi biyogenik etkilere bağlı olarak değiştiğini belirtmişlerdir.

2.3 Sedimentte Azot Döngüsü

Ötrofik göllerde, sedimentte azot döngüsü sürecinin, su kalitesi ve sedimentin özellikleri üzerine büyük ölçüde etki bıraktığı uzun zamandır bilinmektedir (Bruesewitz vd. 2011, Yao vd. 2018). Sediment, azot döngüsünde yer alan fiziko-kimyasal ve biyolojik süreçlerde önemli rol oynamaktadır (Li vd. 2012). Sedimentler, kimyasal ve biyolojik olaylarda önemli rol oynar sedimentten azot salınımı sudaki azot konsantrasyonunu etkiler ve dış kaynaklı besin elementi girişi kontrol edildiği takdirde bu durum gölün yıl boyu ötrofik olmasına sebep olur (Gardner ve McCarty 2009). Azotun sedimentten suya salınması, sudaki azot konsantrasyonunu da etkilemekte ve özellikle dış kaynaklı besin yüklemesi kontrol altına alınmışsa, gölün tüm yıl ötrofik olmasına neden olabilmektedir (Jin vd. 2006, Xie vd. 2003). Sudaki yüksek azot derişimi, uygun koşullar altında sedimente aktarılmakta ve sedimentte birikerek potansiyel azot kaynağı haline gelebilmektedir (Ni ve Wang 2015, Wu vd. 2001). Sedimentteki amonyum adsorbsiyonu genellikle sedimentin organik madde içeriği ile ilişkilidir; organik maddece zengin sedimentler azotu bünyelerinde tutarak biriktirirler. Sulak alanlarda azot salınımı, çeşitli azot formlarının sedimentasyonu ve tekrar süspanse olması şeklinde oluşmaktadır. Amonyum pozitif yüklü bir iyon olduğu için sedimentteki partiküllere adsorbe olabilmektedir. Adsorbe olmuş amonyum düzeyi ile sudaki amonyum konsantrasyonu dengede bulunmaya eğilimli olduğundan su

kimyasındaki herhangi bir değişik sedimentten suya olan salınımı tetikleyebilmektedir (Delince 1992, Hakanson ve Jansson 2002).

Sedimentin üst katmanında çözünmüş haldeki besin elementleri dinamiğinde sediment-sediment üstü su arasındaki konsantrasyon farklılıkları önem taşımaktadır; bu farklılıklara bağlı olarak sediment-su arasında döngüsel difüzyonel bir geçiş gerçekleştirebilmektedir. Sediment-su arasındaki amonyum ve nitrat dinamiği, (F) Fick'in Birinci Difüzyon Yasası'na bağlı olarak söz konusu iyonların ortamlar arası difüzyonel salınımı ile modellenilebilmektedir (Serpa vd. 2007). Klapwijk ve Snodgrass (1982) adlı araştırmacılar, Kanada'da bulunan Ontario Gölü'nde, sediment gözenek suyundaki amonyum konsantrasyonunu, sediment üstü sudaki amonyum düzeyine göre 2-100 kat daha yüksek tespit etmişlerdir (Delince 1992).

Kuwae vd. (1998), Japonya'da Tokyo Körfezi'nde, sediment-su ara yüzeyinde azot değişimini araştırmışlardır. İnterdial sediment, ışıklı periyotta çözünmüş inorganik azot açısından tuzak iken, karanlık periyotta kaynak olarak tespit edilmiştir. Karanlık periyotta sediment gözenek suyundaki konsantrasyon değişimlerinden hesaplanan difüzyonel salınım değerlerinin, doğrudan ölçüm sonuçlarından daha düşük olduğu ve bu farklılığın, çift kabukluların boşaltım ürünlerinden kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Makrofauna kaynaklı biyotürbasyon veya boşaltım ürünleri, sediment-su ara yüzeyindeki çözünmüş inorganik azot değişimini büyük ölçüde etkilemiştir. İnterdial sediment çözünmüş inorganik azot için bir rezerv olup sediment yüzeyindeki mikroalgler, sediment üstü sudan fotosentetik proses ile sedimentten mineralize olmuş çözünmüş inorganik azot salınımını baskılayarak, çözünmüş inorganik azotu uzaklaştırmada önemli rol oynamışlardır.

Azot dinamikleri ile ilgili birçok araştırma kıyı ve okyanuslara odaklanmışken, tropikal tatlısu sistemleri hakkında daha az bilgi mevcuttur. Azot birçok sayıda tropikal gölde potansiyel sınırlayıcı faktördür. Azot transformasyon yolları, oksijenli ve oksijensiz mikrobiyal işlemleri içerdiğinden çoğunlukla su derinliği, sıcaklık, sediment yapısı, sediment organik madde içeriği, bakteri varlığı ve nitrat azotu gibi çevresel koşullara dayalı olarak gerçekleşmektedir. Han vd. (2014) Singapur'da bir rezervuarda sediment-

su ara yüzeyindeki azot dinamiklerini araştırmışlar, sığ bölgede sedimentin güçlü bir mineralizasyon oranı ($13,39 \text{ mmol/m}^2 \text{ gün}$) olduğunu bildirmişlerdir. Nitrifikasyon ve azot gazı uzaklaştırma oranları suyun derinliğine bağlı olarak artış gösterirken amonyum azot salınımı $17,61 \text{ mmol/m}^2 \text{ gün}$ olarak belirlenmiştir. Amonyum azotunun redüksiyonu ile oksijensiz ortamda nitrat azotu oluşumu fitoplankton kullanımı için gerekli azot oluşumunu sağlamaktadır. Sedimentte TN oranı % 4,32-5,53 iken, $\text{NH}_4\text{-N}$ salınımı ise $2,27\text{-}14,09 \text{ mmol/m}^2\text{gün}$ olarak tahmin edilmiştir.

Szogi vd. (2003), yüksek azot derişimi içeren hayvansal işletme atık sularını uzaklaştırma amacıyla kullandıkları yapay bir sulak alanda, sediment gözenek suyundaki amonyum-azotu konsantrasyon değerleri ile azot yükleme değerlerini birlikte ele almışlar; sediment gözenek suyunda belirlenen yüksek amonyum-azotu ($>200 \text{ mg/l}$) düzeyinin, yapay sulak alan sisteminin uzun-dönemli işlevselliğini olumsuz yönde etkileyebileceğini bildirmişlerdir.

Göl ekosistemlerinin azotu ortamdaki uzaklaştırmasına bağlı olan verimliliği ve kendi kendini temizleme kapasitesi ile yakından ilişkili olan sedimentte azot döngüsü süreçleri ve ilişkili mikroorganizmalar üzerindeki su altı bitki örtüsünün göl restorasyonuna etkisi hakkındaki bilgiler sınırlıdır (Yao vd. 2018). Su altında kalan makrofitler ekosistemde önemli bir yapılandırma rolü oynamakta ve sığ göllerde berrak su durumunu korumaya yardımcı olmaktadır (Moss 1990, Jeppesen vd. 1998, Scheffer 1998, Qing vd. 2015). Sucul ekosisteme yüksek orandaki fosfor girişı antropojenik etkilerin yoğunlaşması ile birlikte, küresel ölçekte sucul makrofit kaybı ve daha yüksek bulanıklık seviyelerini oluşturabilmektedir (Jeppesen vd., 1998, Scheffer, 1998, Körner 2002, Carpenter 2003, Sand-Jensen vd. 2008, Wang vd. 2014). Ekosisteme insan kaynaklı giriş yapan azotun makrofit resesyonu açısından rolü son zamanlarda yoğun ilgi görmektedir (Moss 2001, Jeppesen vd, 2007, Moss vd. 2013).

Sucul ortamlarda mezocozm deneylerinde azot yüklemesinin makrofit düzeneklerine etkisi bağlamında, su altındaki makrofit yoğunluğunun, yerini yüzen yapraklı makrofit baskınlığına bıraktığı bildirilmiştir (Feuchtmayr vd. 2009). Danimarka'daki sığ göllerde yapılan mezocozm deneyleri ve saha araştırmaları kapsamında yürütülen çalışmada;

toplam azot konsantrasyonunun 1,2–2 mg/l⁻¹'i, toplam fosfor konsantrasyonunun ise 0.1-0,2 mg/l⁻¹'i aştığı durumda, su altında kalan makrofit kaybı riskinin önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir (González Sagrario vd. 2005). Qing vd. (2015), küresel ölçekte fosfatlı gübre kullanımının sınırlar dahilinde kaldığını (FAOSTAT 2014), artan azotlu gübre uygulamalarının ise azotun sucul makrofitler üzerindeki zararlı etkilerini artıracağını bildirmişlerdir. Sucul ortamlarda azot ve fosforun spesifik etkilerinin belirlenmesindeki güçlükler rağmen bazı araştırmalar azotun spesifik etkilerine odaklanmıştır. Söz konusu argümanların temelinde, besin tuzlarının sucul ortama etkisi noktasında fitoplankton büyümesini teşvik edebileceği, oksidatif stres oluşturarak serbest radikallerin oluşumu ile birlikte bitki metabolizması üzerinde toksik stres yaratabileceği yatmaktadır.

Sucul ekosisteme yüksek orandaki azot girişi, su altı makrofitleri üzerinde aşağıdaki etki mekanizmalarını oluşturmaktadır (Yu vd. 2015);

- i- Büyümeyi teşvik ederek fitoplanktonu gölgelemesi,
- ii-Perifitonu gölgelemesi,
- iii- Bitki metabolizmasında oksidatif stres yoluyla toksik stres oluşumu ile fotosentez mekanizmasını engelleyerek büyümede baskılanma ve yapraklarda kloroz ile sonuçlanmaktadır.

Azotun sualtı bitkilerinden *Vallisneria natans* üzerine etkisinin araştırıldığı aynı çalışmada, sudaki azot yüklemesinin fitoplankton gölgelemesi üzerine doğrudan etkili olmadığını, yüksek konsantrasyondaki azotun yarattığı toksik stresin makrofit büyümesinde bir azalmadan sorumlu olabileceğini bildirmişlerdir (Yu vd. 2015).

Qui vd. (2003) tarafından yürütülen beş aylık bir araştırma kapsamında; Yangtze Nehri'nin güney kıyısında, Bao'an Gölü'nün kuzeydoğusunda yer alan deney havuzlarında gerçekleştirilen çalışmada yüksek azot konsantrasyonunun makrofit büyümesini teşvik ederek; özellikle yaprak uzunluğu, yaprak kütlesi ve kök uzunluğunun arttığını bildirmişlerdir. Azot girdisinin artışı toksik stres ve fitoplankton

gölgelemesini tetiklemiştir. Bu çalışma kapsamında sığ ve ötrofik olan göllerde azotun ötrofikasyona etkisinin, büyük göllere oranla daha fazla olduğu bildirilmiştir.

Baiyangdian Gölü (Çin) sedimentinde azot dağılımı ve amonyak salınımı üzerine yapılan kapsamlı bir çalışmada, kentleşmenin hızla arttığı bölgeden, su ve sediment örnekleri alınmıştır (Yaoyao vd. 2019). Su numunelerindeki ortalama amonyum (NH_4^+-N), NO_3-N ve TP konsantrasyonları sırasıyla 0,36, 0,12 ve 2,22 mg/l olarak saptanmıştır. Sudaki azot konsantrasyonları gölün kuzey bölgesinden güney bölgesine doğru kademeli olarak artış göstermiştir. Sediment örneklerinin toplam azot konsantrasyonu, ABD Çevre Koruma Dairesi TN kirlilik standartlarında tanımlanan (1000-2000 mg/kg) orta derecede veya üzerinde kirlenmiş sınıf düzeyi ile uyumlu bulunmuştur. Gölde sedimentten suya salınan NH_4^+-N 'u 5,35-48,76 mg/m²/gün olarak saptanmıştır. Çin'deki göllerin % 90'ından fazlası yüksek düzeydeki azot ve fosfor içeriği nedeniyle ötrofik özelliktedir (Yang vd. 2013). Göllerdeki yüksek azot konsantrasyonu ötrofikasyona neden olabilmekte bu da fitoplankton ve alglerin ayrışması sonucunda hipoksik veya anoksik atıklara yol açmaktadır (Bhatnagar ve Sillanpää 2011, Davis vd. 2015, Liu vd. 2012). Besin tuzlarından azot, Baiyangdian Gölü'ndeki sedimentin ana kirletici unsurdur (Shu vd. 2010). Sedimentten sediment üstü suya salınan amonyum NH_4^+-N , bitkiler tarafından çoğunlukla; difüzyon, sediment süspansiyonu ve biyoakümülyasyon yoluyla absorbe edilir (Hu vd. 2001). Çözünmüş NH_4^+-N 'nin sediment-su ara yüzeyindeki difüzyonu, iç kaynaklı azot salınımında ana unsur olup NH_4^+-N 'nin serbest bırakılma potansiyeli arttıkça suyun ötrofikasyon riski de aynı oranda artmaktadır.

Sucul ekosistemlerde azot kaynaklı kirlilik ciddi tehlikelere neden olabilmektedir; sedimentte azot birikimi sucul bitki materyalinin ayrışması, su seviyesinin düşmesi doğrultusunda, hayvancılık ve kümes hayvancılığı faaliyetleri atığının ekosisteme deşarjı sedimentteki azot birikimini artırmaktadır ki bu artış sedimentteki bentik canlı dağılımını da olumsuz yönde etkilemektedir. Yapılan çalışmada, sudaki ortalama NH_4 ve TN konsantrasyonları sırasıyla 0,36 mg/l ve 2,22 mg/l olarak saptanmıştır. Toplam azot konsantrasyonu Çin'in doğusundaki göllere kıyasla daha yüksek bulunmuş olup Çin Su Kalitesi Standartlarına göre ise "kötü düzey" olarak belirlenmiştir. Göldeki

sediment örneklerinde TN konsantrasyonları dikkate alındığında ABD Çevre Koruma Dairesi tarafından tanımlanan “orta derecede” kirlenmiş sınıfa dahil edilebilir. Sediment gözenek suyundaki $\text{NH}_3\text{-N}$ ve $\text{NH}_4\text{-N}$ seviyeleri, örnekleme sahalarının çoğunda bentik biyoçeşitliliği olumsuz etkilemiştir. Bu çalışma ile göldeki azotun ortamdan uzaklaştırılması veya $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 'nin sedimentten salınımının önlenmesi için göl restorasyon tekniklerinin pratiğe aktarılmasına odaklanılması gerektiği bildirilmiştir.

Sucul ortamlarda amonyum azot konsantrasyonunun düşük olması, azot döngüsünde amonyum azotunun dengede olduğu, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve amonyağın anaerobik oksidasyonunu içeren mikrobiyal komitelerin stabil olduğunu ifade eder. Göl ekosisteminin besin düzeyini muhafaza edebilmesi adına dışarıdan besin girdisini azaltmak için yönetim stratejilerine yoğunlaşmak gerekmektedir. Sedimentten suya salınan besin tuzları birçok sucul sistem için besin dengesinde önemli bir süreç olarak kabul edilmektedir (Hale 1975; Gardner vd. 2006, Gardner ve McCarty 2009).

Dünyanın en büyük ikinci tatlısu gölü olan Victoria Gölü kıyı sularını çevreleyen ülkeler arasında antropojenik faaliyetlerin fazla olduğu ve yoğunlaştığı bir göldür. Gölde biyolojik azot fiksasyonu yoluyla azot girişi incelenmiş; göldeki havza iklimi iki farklı mevsim ile karakterize edilmiştir. Haziran – Eylül arası kuru dönem, Ekim – Şubat periyodu hafif yağışlı dönem, Mart-Mayıs dönemi ise şiddetli yağışlı periyod olarak iki ıslak dönem şeklinde tanımlanmıştır. Göle ait üç koydan (Magu, Mwanza, Kayenze koyları) sediment örnekleri tüplü dalış yapılarak alınmıştır. İnsan faaliyetlerinden yüksek oranda etkilenen Mwanza ve Magu koylarının sedimentlerinin besin elementleri açısından çok zengin olduğu, insan faaliyetlerinden uzakta olan Kayenze koyunun ise diğer iki örnekleme alanına kıyasla bozulmamış olduğu belirtilmiştir. Örneklerde azot fiksasyon oranları asetilen indirgeme tekniği kullanılarak ölçülmüştür. Gölde biyolojik azot fiksasyon oranı genel olarak, yağışlı periyotta kuru döneme göre istatistiki anlamda daha yüksek tespit edilmiştir. Kayenze Koyu'nda NO_3 oranı yüksek tespit edilmiş olup sediment – su ara yüzeyinde üç farklı bölge arasında NO_3 akış konsantrasyonları önemli ölçüde farklılık göstermiştir. Kayenze Koyu amonyum azotu salınım düzeyi, Mwanza ve Magu koylarına oranla daha yüksek tespit edilmiştir. Bu çalışma antropojenik faaliyetlerin sedimentte ve yüzey sularındaki besin

elementi zenginleşmesinin önemli bir kaynağı olabileceğini ortaya koymuştur. Göldeki iç kaynaklı besin yüklerinin, yüksek miktardaki dış kaynaklı besin yükleri yaşayan göllerdeki besin seviyesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceği, olgusunu destekler gözükmektedir (Shayo and Limbu 2018).

Sucul sistemlerde nitrat içeriği fitoplankton için önemli bir çözünmüş inorganik madde kaynağıdır ve bu durum göl suyundaki nitrat konsantrasyonlarının mevsimsel değişimini etkilemektedir. Çin'in subtropikal bölgesinde Yangtze Nehri'nin deltasında yer alan en büyük beş tatlı su gölünden olan sığ-ötrofik Chaohu Gölü'nde göl suyu ve sediment gözenek suyundaki azotun aylık yersel ve mevsimsel değişimi incelenmiştir. Sediment üstü sudaki dominant azot formu nitrat azotu, sediment gözenek suyunda ise dominant azot formu amonyum azotu olarak saptanmıştır. Bu durum, sediment-su ara yüzeyinde kuvvetli oksidatif besin elementi dejenerasyonunun oluşmasına işaret etmektedir. Amonyum salınımı ve sıcaklık arasındaki pozitif korelasyon artan sıcaklık ile yoğun amonifikasyon ve nitrat redüksiyonu arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Sucul ekosistemlerde amonifikasyon, nitrifikasyon ve denitrifikasyon içeren çözünmüş ve partiküler organik azot mineralizasyonu boyunca sediment-su ara yüzeyindeki etkileşimler kritik rol oynamaktadır. Bu etkileşimler, sedimentteki besin elementi immobilizasyonu, rejenerasyon oranı, bazı fiziko-kimyasal ve metabolik işlemlerle ilişkilidir. Söz konusu etkileşimlerde, sediment üstü suyun çözünmüş oksijen konsantrasyonu, redoks potansiyeli ve pH seviyeleri etkilidir. Sedimentteki azot içerisinde amonyum bir kaynak ve nitrat bir tuzak olarak rol alır. Sediment gözenek suyundaki amonyumun kaynağı genellikle iki önemli biyolojik işleme bağlıdır. Bunlar; organik maddenin bakteriyel ayrıştırılması ve bentik organizmalar tarafından üretilen metabolik atıklardır. Sucul ortamlarda amonyum salınımı; sedimentin tipi, organik madde oksidasyonu, sıcaklık ve çözünmüş oksijen konsantrasyonu gibi çeşitli faktörler tarafından yönetilir. Chaohu Gölü'nde amonyum salınımı; su sıcaklığı, alg biyoması, klorofil konsantrasyonları artışı ile artarken suyun çözünmüş oksijen seviyesindeki artışla azalmaktadır. Azot ile alg biyokütlesi ve klorofil-a konsantrasyonları arasındaki pozitif korelasyon, çalışma alanında yüksek azot salınımlarının fitoplanktonun biyokütle artışı desteklediğini ortaya koymuştur. Bu çalışma ile sedimentin amonyum konsantrasyonu ve çözünmüş oksijen derişimi arasında negatif korelasyon olduğu;

sedimentteki organik maddenin artan amonifikasyon seviyesi ile düşük çözünmüş oksijen seviyesine bağlı düşük nitrifikasyon oranının artan amonyum salınımını tetiklediği ortaya konmuştur (Zhang vd. 2008).

Nehirlerdeki restorasyon çalışmalarının sediment-su arası azot dinamikleri üzerine etkilerini belirleyen bir araştırma Londra'da Thames Nehri'nde yürütülmüştür. Nehrin restore edilen bölgelerinde amonyum salınımı $-8,9$ ile $5,0 \mu\text{g N/m}^2\text{sn}$ olarak hesaplanmıştır. Ortalama nitrat salınımı ise $-33,6$ ile $97,7 \mu\text{g N/m}^2\text{sn}$ arasında tahmin edilmiştir. Bölgede amonyum nitrat salınımlarının sedimentte klorofil-a, toplam organik madde ve tanecik boyutu ile ilişkili olmadığı ortaya konmuştur. Azot salınımindaki bu değişimlerin sedimentin birikim kapasitesi, biyokimyasal transformasyon, potansiyel yasal etkiler, antropojenik kirleticiler ve nehrin spesifik restorasyon aktivitelerinden kaynaklandığı bildirilmiştir (Lavella vd. 2019).

Sıcaklık faktörü sedimentte mikrobiyal kaynaklı denitrifikasyon ve anaerobik koşulları yöneten temel çevresel değişkenlerden en önemlisidir (Battye, vd. 2017). Sera gazındaki azot, denitrifikasyon sırasında üretilir, ancak anaerobik amonyum oksidasyonu ve bu yolların küresel ısınmaya nasıl tepki verdiği dair bilgiler henüz sınırlıdır. Tan ve arkadaşları (2020) tarafından yapılan bu çalışmada, subtropikal sedimentte ısınmanın denitrifikasyon sırasında üretilen N_2O üretimini doğrudan tetiklediğini ve N_2O üretimi için tepkimede ısınmanın daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca, sedimentten azot salınımının yüksek sıcaklıkta, optimum sıcaklığa oranla baskılanabileceğini denitrifiye edici faktörlerin termotoleranslı olduğunu belirtmiştir. Bu çalışma iklim değişikliğinin sedimentteki azot birikimine yanıtı açısından literatüre katkı sağlamıştır. Reaktif azotun antropojenik üretimi, geçtiğimiz yüzyılda on kat artmış ve nüfusla bağlantılı olarak sucul ekosistemleri etkileme potansiyeli de yükselmiştir. Antropojenik azotun ekosistem üzerindeki etkisi ve biyojeokimyasal döngüleri, küresel ölçekte ikinci en ciddi çevre sorunu haline gelmiştir. Paralel olarak, iklim değişikliğinin önümüzdeki yüzyılda türlerin yok olmasının ve biyoçeşitliliğin bozulmasının önemli bir nedeni olacağı tahmin edilirken, termotoleransı düşük olan türlerin küresel ısınmaya karşı en olması muhtemel gruplar olacağı öngörülmektedir. Çalışmalar çoğu sucul ekosistemlerde sediment denitrifikasyonun sıcaklığa bağlı olduğunu göstermektedir. Tan ve arkadaşları

(2020) tarafından yapılan bu çalışmada, Çin'in güneyinde subtropikal bölgede bulunan çeşitli sığ su sistemlerinde toplanan sediment örnekleri üzerinde sıcaklığın sedimentte azot salınımı üzerindeki etkileri araştırılmış; 6 adet istasyondan, yaz ve kış ayları olmak üzere iki dönemde mevsimsel karşılaştırma yapılmış, sedimentte denitrifikasyon sırasında bir ara ürün olan N_2O üretiminin, her iki mevsimde de arttığı bildirilmiştir. Sedimentte azot salınımı için $16-24^{\circ}C$ 'nin optimum düzeyde kabul edilebilir bir sıcaklık aralığı olduğu, $30-37^{\circ}C$ 'lerin ise kritik seviyelerde bulunduğu bildirilmiştir (Batty vd. 2017).

Baiyangdian Gölü (Çin) sedimentinde azot dağılımı ve amonyum azot salınımını belirlemek amacıyla yürütülen bir çalışmada, amonyum azotu salınımı genel olarak $5,35$ ile $48,76 \text{ mg/m}^2$ gün arasında değişim göstererek en yüksek değerlerini almıştır. Sediment gözenek suyu amonyum konsantrasyon ortalaması $4,93$ ile 76 mg/L iken bentik organizmalar, özellikle diğer azot formları ile karşılaştırıldığında amonyum azotundan etkilenmektedir. Ayrıca bentik biyoçeşitlilik sediment gözenek suyu amonyum azotu konsantrasyonlarıyla negatif korelasyon göstermektedir (Zhu vd. 2019).

Ötrofik göllerde azotun sınırlayıcı faktör olduğu bilinen bir durumdur. Sediment-su arayüzeyinde partiküler minerilizasyon yoluyla gerçekleşen amonifikasyon ve nitrifikasyon, çözülmüş azotun sucul sisteme katılımında ve sedimentte tutulumunda kritik rol oynamaktadır. Denitrifikasyon sürecinde, azot bakterilerce uzaklaştırılmaktayken anoksik ortamda denitrifikasyon yoluyla, nitratın moleküler azota indirgenmesi sedimentte var olan nitrat düzeyine bağlıdır (Elser vd. 1990, Downing ve Mc Cauley 1992).

Chaohu Gölü'nde azotun dinamik döngüsünde sedimentin rolü tam olarak ortaya konmamıştır. Sediment-su sütunu arasında güçlü bir etkileşim olduğu bilinen Zhang ve arkadaşları (2015) tarafından yapılan bu çalışmada iki adet yüzey suyu örnekleri ve üç adet sediment örneği ($0-10 \text{ cm}$, $10-20 \text{ cm}$ ve $20-30 \text{ cm}$) altı lokasyondan, aylık olarak toplanmıştır. Gölde nitrat, nitrit ve toplam azot konsantrasyonları göle girdi kaynağının fazla olduğu batı bölgesinde diğer bölgelere oranla daha yüksek tespit edilmiştir. Sudaki

amonyum konsantrasyonu gölün her bölgesinde oldukça yüksek çıkmış olup nitratın baskın iyon olduğu ve gölü besleyen nehirlerden gelen % 79 oranındaki azot deşarjı ile göl çevresindeki şehirleşmenin yüksek düzeyde besin girdisine bağlı olarak yüksek azot konsantrasyonuna yol açtığı bildirilmiştir. Gölün tamamındaki nitrat konsantrasyonunun düşük kalması ise mikrobiyal denitrifikasyona bağlanmıştır. Bu çalışmada azotun mevsimsel değişiklikleri ile birlikte nitrattaki değişim dikkati çekmiş ancak her ikisinde de mevsimsel belirgin bir değişim gözlenmemiştir. Chaohu Gölü'nde mevsimsel olarak tahmin edilen sediment-su ara yüzeyindeki değişim mineralizasyon sürecine bağlanmıştır.

Tatlı su gölleri karasal alandan okyanusların kıyısına doğru taşınan antropojenik kaynaklı azot yükünün uzaklaştırılması adına rol alan hassas sıcak noktalardır. Azotun uzaklaştırılmasındaki söz konusu mekanizmada ana kontrol faktörlerin neler olduğu net olarak bilinmese de biyokimyasal işlemler, ilgili taşınım oranı ve azot uzaklaştırma etkinliğinin besin elementi açısından göller arası farklılık gösterdiği ortaya konmuştur. Bu bağlamda Müller vd. (2021)'nin İsviçre'de bulunan ötrofik Baldegg Gölü ile oligotrofik Sarnen Gölü'nde azot uzaklaştırma etkinliğinin farklılıklarını ortaya koymak amacıyla yürüttüğü araştırmada; ötrofik Baldegg Gölü'nde azot uzaklaştırılmasının $20 \pm 6,6 \text{ g N m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$, oligotrofik Sarnen Gölü'nde ise bu değer $3,2 \pm 4,2 \text{ g N m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$, olarak tahmin edildiği bildirilmiştir. Baldegg Gölü'nde yıllık azot yüklemesi ve uzaklaştırılma oranı arasında önemli bir bağlantı olduğu ve sediment üstü suyun nitrat konsantrasyonu ile istatistiki olarak önemli bir korelasyon oluşturduğu ortaya konmuştur. Gölde $\text{NO}_3\text{-N}$ salınımı $15\text{--}55 \text{ mg N m}^{-2}$ gün iken sediment üstü suda NO_3 konsantrasyonları $1.2\text{--}1.4 \text{ mg N/L}$ arasında değişerek mevsimsel önemli farklılık sergilememiştir. Birçok istasyonda NO_3 salınımı kışı takiben bahar ayları başlangıcında en yüksek iken tabakalaşmanın sona erdiği yaz sonlarına doğru yarı yarıya düşüş göstermiştir. Baldegg Gölü'nde NH_4 salınımı tabakalaşma periyodunun sonuna doğru ortalama $28 \text{ g N m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ değerinden $45 \text{ g N m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ değerine doğru artış göstermiş; bu durum üretimin yüksek olduğu mevsim boyunca gerçekleşen sedimentte birikmiş organik maddenin mineralizasyonunun bir sonucu olarak gerçekleşmiştir. Tabakalaşmanın olmadığı Kasım-Mart periyodunda NH_4 salınımı % 40-75 oranında tekrar düşmüştür. Oligotrofik özellikteki Sarnen Gölü'nde organik madde birikimi

sediment üstü suda $\text{NH}_4\text{-N}$ birikimini engelleyecek boyutta düşük olarak tespit edilmiştir. Bu gölde NH_4 salınımı yıl boyunca belirgin bir değişime uğramadan salınım düzeyi ortalama $2.2 \pm 0.3 \text{ Fg N m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ olarak tahmin edilmiştir. Ötrofik Baldegg Gölü'nde azot salınımı güçlü bir mevsimsel değişim gösterirken oligotrofik Sarnen Gölü'nde belirgin bir mevsimsel değişime rastlanmamıştır. Araştırmacılara göre mevsimsel azot uzaklaştırılma oranındaki artış ötrofik göllerde sediment-su ara yüzeyindeki mevsimsel oksijen düzeyi ile ilişkili bulunmuştur. Araştırma sonucu ile artan oksijen seviyesinin sediment mineralizasyonunu artırdığı ve bu durumun dolaylı olarak denitrifikasyon aktivitesini de teşvik ettiği bildirilmiştir.

2.4 Sedimentte Azot ve Fosfor Fraksiyonları

Sedimentte besin elementlerini oluşturan azot ve fosfor ötrofik göllerde önemli rol oynamakta besin elementlerinin sedimentte mekânsal değişimi ve etkili tüm faktörler ise bu süreçte önem taşımaktadır (Carpenter 2005, Jeppensen vd. 2017, Paerl vd. 2011). Azot göl ekosisteminde birincil üretkenliği ve besin zincirinin yapısını korumak için önemli bir sınırlayıcı faktör olarak bilinmektedir. Yüksek yoğunluklu insan faaliyetleri, aşırı düzeyde aktif azotun göllere boşaltılmasına bağlı olarak ötrofikasyon ve alg patlamaları gibi bir dizi çevresel soruna neden olmaktadır (Vitrousek vd. 1997, Seitzinger ve Kroeze 1998, Zhong vd. 2021).

Göllerde sudaki azot ve fosfor konsantrasyonunun sedimentten olan iç kaynaklı besin elementi yüklemesinden de etkilendiği bilinmektedir. Lee vd. (2019) Güney Kore'de Euiam Gölü'nde sedimentten olan iç besin elementi yüklemesinin su kalitesi üzerine etkisini belirlemek amacıyla deneysel bentik çemberlerde üç yönlü hidrodinamik ve taşınım modeline dayalı bir modelleme uygulamışlardır. Söz konusu araştırmada $\text{NH}_4\text{-N}$ salınımı $-7,915 - 0,074 \text{ mg N m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ salınımı ise $-17,940 - 1,209 \text{ mg N m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ olarak tahmin edilmiştir. Gölde genellikle amonyum salınımı sedimentten suya doğru iken nitrat salınımı sudan sedimente doğru gerçekleşmiştir. Hesaplanan negatif yönlü değerler, büyük miktarda nitratı sedimente doğru taşıırken az miktarda amonyağı sediment üstü suya doğru taşımayı sağlayan sediment üstü suda gerçekleşen nitrifikasyonun dominant olduğunu desteklemektedir.

Sığ ve ötrofik karakterli göllerde hidrodinamik, sedimentte besin salınımı dağılımını indükleyebilir. Hidrodinamikten etkilenen salınım suyun derinliği, besin türleri, su sıcaklığı, pH, konstantasyon gradyanı, redoks potansiyeli ve ortamda bulunan organizmalar da etki eder (Wu vd. 2019). Wu ve arkadaşları (2019) Taihu Gölü'nde sedimentte azot ve fosforun hidrodinamikten kaynaklı taşıma perspektifinin mekânsal dağılımına dair yaptıkları araştırmaya göre: hidrodinamiğin, yüzey alanı büyük, sığ ve ötrofik göllerde besin dinamiği açısından önemli rol oynadığını bildirmişlerdir. Yapılan çalışmada Taihu Gölü sedimentinde azot ve fosforun saha gözlemleri yapılmış, sayısal simülasyonlara ve uzun vadeli ekolojik veri analizine dayanan hidrodinamik kaynaklı taşıma perspektifleri karşılaştırılmıştır. Araştırmada saha çalışması kapsamında altı adet (0-1 cm, 1-2 cm, 2-3 cm, 3-4 cm, 4-6 cm ve 6-10 cm) sediment numunesi alınmıştır. Sedimentte TN içeriği 319,4-3123,8 mg kg⁻¹ olup en yüksek oranların gölün Zhushan, Meiliang ve Doğu Taihu koylarında gözlemlendiği tespit edilmiştir. Çözünmüş azotun çoğunlukla yüzey suyunda bulunduğu, göl akıntıları ile biyokütle seviyesi zayıf olan alanlara horizontal olarak taşındığı belirlenmiştir. Yatay olarak taşınan azot kaynaklı zenginleşmede sedimentten salınan azotun biyoakümülyasyon yoluyla hidrodinamik düzeninde değişime sebep olduğu ifade edilmiştir. Sedimentte TP içeriği 382,6 ile 1314,1 mg kg⁻¹ arasında değişmiş olup yüksek fosfor içeren alanların nehir ağızlarına yakın bölgelerde bulunduğu belirtilmiştir. Fosfordaki zenginleşmenin azota kıyasla, fiziksel yolla meydana geldiği ve birikmenin kimyasal olduğu, yüzey dalgalarının ise fosforu sedimentten üst tabakaya taşıyarak suya salınımın gerçekleştiği azota kıyasla etkisinin zayıf olduğu tespit edilmiştir. Sediment örneklerinde TOC, NH₃, NO₂, % su içeriği ve kuru ağırlık miktarları hesaplanmıştır. TOC içeriğinin % 1,28-3,52 arasında, ortalama değerin % 1,87 olduğu, N:P oranının ise 0,7-6,7 arasında olduğu ve ortalamasının 2,6 olduğu bildirilmiştir. Gölün batı ve güneydoğu bölgelerindeki değerler diğer bölgelere kıyasla yüksek tespit edilmiştir. Çözünmüş azotun göl akıntısı ile taşındığı, fosforun ise sedimentte fiziko-kimyasal birikim ile oluştuğu, azot değişiminin sediment derinliğine bağlı olduğu aynı zamanda mevsimsel cyanobakter patlamalarının da gözlemlendiği ortaya konmuştur.

Zhong ve arkadaşları (2021), sediment-su ara yüzeyinde (SWI) sediment tarama yöntemi kullanarak ötrofik karakterdeki Taihu Gölü Meiling Koyu'nda azot

yüklemesinin uzun vadedeki etkilerini araştırmışlardır. Araştırma Meiling Koyu'nda Ocak 2018'de 120 adet 30 cm derinlikten toplanan sediment örneği ile yürütülmüştür. Araştırma kapsamında çözünmüş inorganik azot (DIN), çözünmüş oksijen (DO), % su içeriği, organik madde, toplam azot fraksiyonları sedimentte bulunan kararsız azot ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ ve $\text{NO}_2\text{-N}$) ile sediment gözenek suyundaki $\text{NH}_4\text{-N}$ derişimleri dikkate alınmıştır. Araştırma sonucunda, sedimentteki organik madde ve toplam azot miktarını azaltmaya dönük yöntemler önerilmiştir. Söz konusu yöntemler: azot mineralizasyonu, azot fiksasyonu, denitrifikasyon ve anaerobik amonyak oksidasyonudur (anammox). Ayrıca su-sediment ara yüzeyinde azot döngüsü süreci sedimentteki organik madde ve azot bakımından zenginleştirilmiş çökelti girdisi ile hızlanmıştır. Sediment tarama çalışmaları, yüzey sedimentte organik madde ve toplam azot içeriğinin azaltılması ve sediment-su ara yüzeyindeki redoks potansiyelinin yükselmesi şeklinde yarar sağlamıştır. Dolayısıyla çalışma sediment tarama uygulamalarının sığ göllerde iç kaynaklı azot yüklemesini kontrol etmede hem avantajlı hem de dezavantajlı olabildiğini ortaya koymuştur. Söz konusu uygulamalar sediment-su ara yüzeyindeki inorganik azot akışını azaltmaya yardımcı olurken, denitrifikasyon ve anammoks yoluyla azotun uzaklaştırılmasını sağlamıştır. Böylece, iç kaynaklı azot yüklemesinin sürekli kontrolünü sağlamak adına uygulanan sediment tarama yöntemi, partiküler madde girişini ve tutulumunu engellemeye dönük önlemler alınması gerekliliğini ortaya koymuştur.

Denitrifikasyon ve oksijensiz amonyum oksidizasyonu (anommoks) sucul ortamlardan reaktif amonyağın uzaklaştırılmasındaki azot döngüsünde önemlidir. Azot transformasyon işlemleri; su sıcaklığı, çözünmüş oksijen, serbest karbonun relatif bulunabilirliği, sülfid ve metaloksitler ile bağlantılıdır. Azotun transformasyon oranı ve yönü açısından, hiperötrofik kıyusal alanlardaki mekanizmaların anlaşılması üzerine araştırmaların yapılmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Jinpu Koyu'nda, hiperötrofik sediment-su ara yüzeyi boyunca denitrifikasyon ve anaerobik amonyum oksidizasyonunun araştırılması amacıyla sürekli akar sistemlerde $^{15}\text{NO}_3^-$ işaretli teknik kullanılmıştır. Denitrifikasyon ve anommoks oranları sırasıyla 1,76- 327,97 ve 0,33- 36,32 $\mu\text{molN/m}^2\text{gün}$ olarak tahmin edilmiştir. Her iki proses de organik maddenin canlı tarafından kullanılabilirliği ve sedimentteki sülfid/demir oksitlerin varlığı ile yakından

ilişkili bulunmuştur. Denitrifikasyon, toplam uzaklaştırılan azotun ortalama % 90'lık bir kısmını oluşturan reaktif azotun elemine edilmesindeki dominant süreçtir. Toplam olarak denitrifikasyon ve anammoks işlemleri sisteme dışarıdan giriş yapan inorganik azotun % 20'sini oluşturur (Yin vd. 2014).

Yao vd. (2018) Honghu Gölü'nde balık yetiştiriciliği yapılan ağ kafeslerde; sedimentin potansiyel nitrifikasyonu, denitrifikasyonu, N_2O üretim oranları, vejetasyon gradyanları boyunca mevsimsel ve yersel olarak araştırılmıştır. Sedimentin nitrifikasyon ve denitrifikasyon sürecindeki mikroorganizma bolluğunun tespitinde 5 fonksiyonel gen markırı kullanılmıştır. Sonuçlara göre vejetasyonun olmadığı sedimentler denitrifikasyon oranını desteklemiş, ancak yüzen su içi bitkilerin varlığının, denitrifikasyon ve N_2O üretimi üzerine önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. En yüksek nitrifikasyon eylül ayında, en yüksek denitrifikasyon ise aralık ayında tespit edilmiştir. Sonuçlar ötrofik göllerde vejetasyon restorasyonunun, su kalitesini iyileştirdiği ancak sedimentten azot uzaklaştırma etkinliği ve mikrobiyal organizma varlığı üzerinde olumlu bir etki göstermediğini ortaya koymuştur. Bu araştırma ile göl yönetim uygulamaları açısından ötrofik göllerde azot seviyesinin azaltılması için dış kaynaklı besin elementi girdisinin engellenmesi üzerine odaklanması gerektiği ortaya konmuştur.

Sedimentte denitrifikasyon oranları tropik iklimlerde, ılıman iklimlere göre daha düşük seviyelerde görülmektedir (Enrich-Prast 2016). Tropikal kıyı sedimentlerinde izotop eşleştirme tekniği kullanılarak denitrifikasyon oranlarının ölçümüne dönük bir araştırmada; düşük denitrifikasyon düzeyinin açıklanabilmesi adına çözünmüş oksijenin sedimentteki minerilizasyona etkisine odaklanılmıştır. Çalışmada, sedimentteki denitrifikasyon oranları ile azotun oksidasyonu ve indirgenme süreçlerinin oksijen potansiyeli ile önemli ölçüde ilişkili olduğu belirlenmiştir. İki önemli anaerobik biyolojik süreç; denitrifikasyon ve inorganik oksijenin atmosferik azota (N_2) dönüşümünde önemli rol oynayan anammoks olarak ifade edilmiştir. Tropikal ekosistemlerdeki azot döngüsü belirsizliğini korumakta iken yapılan bu çalışmada sediment-su ara yüzeyindeki azot döngüsüne etkili mekanizmalar ve dinamikler hakkında önemli bilgiler sunulmuştur. Araştırma 2000 ve 2001 yılları arasında Tropikal

sucul ekosistemdeki Restinga de Jurubatiba Ulusal Parkı'ndan alınan örneklerle; büyüme, aktivite ve sedimentte DNRA ve denitrifikasyon yapan mikroorganizma dağılımının açıklanması için düşük ve yüksek sediment minerilizasyon oranlarına dayalı teorik bir modelleme çalışması olarak dizayn edilmiştir. Örnekleme sırasında 12 lokasyona ait tuzluluk, derinlik, klorofil-a, NO_3^- , NH_4^+ , TN, TP ve pH değerleri ölçülmüştür. Sedimentte düşük sediment minerilizasyon oranları ile birlikte anammoks süreci ile gerçekleşen amonyum oksidasyon ve NO_2 redüksiyonu katkısı %3 olarak bildirilmiştir. Çalışmanın yürütüldüğü tüm istasyonlarda denitrifikasyon oranları düşük çıkmıştır ve hiçbir dönemde optimal seviyelere ulaşmamıştır. Çalışma sonuçları anaerobik nitrat indirgeyen organizmaların potansiyel aktivitesinin çevresel NO_3 kullanımına bağlı olmadığını ortaya koymuştur.

Serpa vd. (2007) Portekiz'deki sığ bir lagünde, kumlu ve çamurlu sedimentlerde sediment gözenek suyundaki çözünmüş amonyum ve fosfat derişimini sıcaklıkla doğru orantılı bulmuşlardır ($p<0.01$). Araştırma kapsamında minerilizasyon, nitrifikasyon ve denitrifikasyon işlemleri mevsime bağlı olarak değiştiğinden, azotun okside formlarının sıcaklıkla negatif korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir ($p<0.02$).

Doğu Afrika'daki mangrove alanında bulunan Mapopme Deresi'nde, sediment gözenek suyu ile sediment-su ara yüzeyindeki amonyum ve filtre edilebilir ortofosfat derişimleri çalışılmış; yaz dönemindeki konsantrasyon değerlerinin yağışlı periyoda göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Mohammed ve Johnstone 2002).

Sucul makrofitler göl ve nehirlerin ötrofikasyon durumunu ayarlamada önemli rol üstlenirler. Birçok bitki büyüme ve beslenme için sulardaki azot ve fosforu kullanır. Besin elementleri bu sucul sistemlere ya sediment-su ara yüzeyinden salınım ile iç kaynaklı ya da zirai ve kentsel aktiviteler sonucu dış kaynaklı olarak ulaşmaktadır. Avustralya'da Illawarra Gölü'nde, 2001 yılının Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında inorganik azot fraksiyonlarının (NO_2^+ , NO_3^+ , NH_4) salınım düzeyleri araştırılmıştır (Qu vd. 2003). Salınımında amonyumun payının maksimum olduğu ($> \% 80$) ve temmuz ayından eylüle kadar su sıcaklığındaki ve litoral bölgedeki makrofit yoğunluğuna bağlı olarak, amonyum salınım düzeyinin artış gösterdiği belirtilmiştir. Çalışma ile yoğun

makroalg gelişiminin, besin elementlerinin su sütununa olan salınımı azaltmada filtre rolü oynayabileceği hipotezi de desteklenmiştir.

Sucul makrofit yoğunluğunun bulunduğu sığ bir gölde, mikrokozmoz denemeleri ile anoksik sedimentten su kolonuna azot salınımı araştırılmıştır. Bu bölgede azot sucul bir makrofit olan *Eichhornia crassipes* tarafından kullanılmaktadır. Sediment-su ara yüzeyindeki azot dinamiklerinin tanımlanabilmesi için bir simülasyon modeli geliştirilmiş ve deneysel sonuçların kullanımı ile doğrulanmıştır. Tahmin edilen amonyum azot salınımı $4,8 \mu\text{g}/\text{cm}^2\text{gün}$ iken çözünmüş organik azot salınımı $5,8 \mu\text{g N}/\text{cm}^2\text{gün}$, toplam azot salınımı ise $10,6 \mu\text{g}/\text{cm}^2\text{gün}$ olarak tahmin edilmiştir (Reddy vd. 1988).

Azot siklusunda sediment-su ara yüzeyindeki azot geçişi oldukça karmaşıktır; bu proseslerde nitrifikasyon, denitrifikasyon ve amonifikasyon önemli roller üstlenir. Sediment-su ara yüzeyinde çözünmüş oksijen konsantrasyonu redoks potansiyelini yansıtırken amonyum azotu, nitrat azotu ve nitrit azotunun karşılıklı geçişini etkilemektedir. Mu vd. (2007) Bohai Koyu'nda Tianjin kıyısında sediment-su ara yüzeyinde azot, fosfor ve silisyum değişimini araştırmak amacıyla sediment ve sediment üstü su örnekleri toplamışlardır. Sediment-su ara yüzeyinde besin elementi salınımı, besin elementi dengesi ve sudaki pirimer prodüktivitenin varlığı açısından en etkili faktördür. Araştırma iki boyutlu olarak yürütülmüştür; ilk aşamada sahadan alınan kor tüplerde yüzeyden itibaren 20 cm derinlikteki sediment örneklerinin üst kısımdaki 10 cm'lik bölümünün birer santim aralığında kesitlere ayrılması ve alt kısımdaki on santimlik sedimentin ikişer santim derinlikte kesitlere ayrılmasıyla elde edilen numunelerin kullanımı; ikinci aşamada ise 30 cm uzunluğundaki kor tüplerdeki sediment örneklerinin oksijenli ve oksijensiz koşullardaki deney ünitelerinde kontrollü koşullar altında gerçekleştirilmesidir. Sediment gözenek suyundan sediment üstü suya en yüksek salınım $-0,710 \text{ mmol N}/\text{m}^2\text{gün}$, en düşük salınım ise $0,14 \text{ mmol N}/\text{m}^2 \text{ gün}$ olarak tahmin edilmiştir. Nitrat azotu ve nitrit azotu salınımları oksijensiz koşullarda oksijenli koşullara göre daha düşük oranda tespit edilirken amonyum azotu salınımı tam tersi bir trend göstermiştir. Oksijenli koşullarda nitrifikasyon kolay gerçekleşmekte ve sedimentteki nitrat azotu konsantrasyonu daha da yükselerek sedimentten sediment üstü

suya nitrat azotu salınımı meydana gelmektedir. Anoksik koşullarda ise $\text{NH}_4\text{-N}$, nitrifikasyonu sınırlandırırken denitrifikasyon süreci yaşanmaktadır. Denitrifikasyon işleminde nitrat azotu azalırken NO ve N_2 molekülleri artış gösterir. Kıyı sedimentlerinde redoks koşulları amonyum azotunun adsorpsiyonunu etkilerken anoksik koşullarda artan desorpsiyon ve amonyum azotu salınımı ortaya çıkmaktadır.

Yeni Zelanda'da geniş sığ polimiktik bir göl olan Rotorua Gölü bentik çember inkübasyonu ile sedimentten olan SRP ve amonyum salınım oranları mevsimsel olarak çalışılmıştır. Amonyum salınımı $2200 \text{ mg/m}^2\text{gün}$ ile $270 \text{ mg/m}^2\text{gün}$ arasında değişim göstermiştir. Yaz döneminde amonyum salınım miktarının yüksek oluşu sedimentin yüksek organik madde oranı ile ilişkili bulunmuştur. Bu gölde yüksek besin elementi salınımı uzun yıllar boyunca yüksek oranda dış besin elementi yüklemesine bağlı iken sedimentin yüksek organik madde düzeyi ve sedimentin oksijensiz oluşu da bu durum üzerinde etkili bulunmuştur. Dış besin elementi yüklemesindeki ciddi orandaki azalmanın, besin elementi birikim siklisu üzerinde bir kırılım sağlayabileceği düşünülmektedir (Burger vd. 2007).

Ezzati vd. (2020) tarımsal faaliyet kaynaklı fosfor girdisinin su kaynaklarında ötrofikasyonu tetikleyeceğini bildirmiştir. Bu bilgi ışığında İrlanda'da "Nitrat Direktifi" kapsamında sulcul sistemlerin besin elementi yüküne maruz kalması ve sediment kayıpları açısından çiftliklerde fosforlu gübre kullanımının ayarlanması ana hedeftir. Sediment örneklerinin fosfor açısından kaynak mı yoksa tuzak mı olduğunu belirlemek için EPC_0 ölçümleri yapılmaktadır. Bu parametre tatlı su sistemlerinde sedimentin fosforu absorbe/desorbe edebilme düzeyini belirlemek için sıklıkla kullanılmaktadır. Sedimentte ölçülen EPC_0 suyun DRP (çözünmüş reaktif fosfor) değerinden yüksek ise konsantrasyon açısından denge oluşturabilmek adına fosfor salınımı gerçekleşebilmektedir. Sedimentin EPC_0 değeri suyun DRP değerinden düşük olduğu durumda ise dengedeki solüsyonun fosfor konsantrasyon seviyesi sürdürülebilmesi için sudan sedimente doğru fosfor adsorpsiyonu tetiklenmektedir.

Salınım mekanizması difüzyon işlemine dayalı olarak sediment gözenek suyu ve sediment üstü su arasındaki konsantrasyon farklılıklarına bağlı biçimde değişmektedir.

Besin elementlerinin salınımının kontrolü üzerindeki etkili faktörler; sediment tanecik boyutu, dağılımı, su derinliği, tuzluluk, pH ve çözünmüş oksijen gibi çevresel parametrelerdir. Maslukah vd. (2018) sedimentten suya olan azot ve fosfor salınımının kıyı bölgeleri için önemine dönük bir araştırma yürütmüştür. Bu araştırma ile Endonezya’da Wiso ve Serang Nehir ağızlarında sedimentten suya olan azot ve fosfor salınımlarının tahmini amaçlanmıştır. Sedimentten suya olan fosfor geçişi pozitif değer alırken negatif tahmin değerleri tutuluma işaret etmektedir. Toplam organik karbon % 0,1-0,7 arasında değişim gösterirken NO₂ ve NO₃ azot salınımları Serang ve Wiso Nehir ağızlarında sırasıyla 20,5 kg/m²s ve 21,21 kg/m²s olarak tahmin edilmiştir. Araştırma sonucunda iki bölge arasında azot salınımının dikkate çekici düzeyde farklılık oluşturmadığı bildirilmiştir.

2.5 Göllerde Sedimentin Fiziko-Kimyasal ve Biyokimyasal Özellikleri

Sediment biyokimyası element döngüsü bileşenlerinin ana kısmıdır; sığ sucul sistemlerde fotosentetik olarak üretilen organik maddenin % 30’u sedimentte birikir ve uygun koşullarda sedimentten suya salınır. Organik madde sirkülasyonunda gerçekleşen oksijen tüketimi, su kolundaki besin elementlerinin sediment-su ara yüzeyindeki dinamiği kapsamında sedimentin kaynak ya da tuzak görevi üstlenmesine neden olmaktadır. Organik maddenin bir bölümü denitrifikasyon yoluyla tekrar minerilize olurken biyolojik olarak kullanılmayan azot gazının oluşumu gerçekleşir. Kıyı sularında denitrifikasyon azotun uzaklaştırılmasındaki en önemli yoldur. Düşük oksijen koşullarında, sedimentteki nitrifikasyon-denitrifikasyon engellenir ve tekrar mineralize olan azot su kütlesine birincil üreticilerin kullanımına hazır olarak NH₄ şeklinde geçiş yapar ve böylece ötrofikasyon artış gösterir (Laurent vd. 2016).

Weston vd. (2005) tarafından Güneybatı Ohio, USA’de bulunan küçük, sert sulu ve sığ ötrofik karakterdeki bir rezervuarda, sedimentten amonyum salınımı tahmin edilmiş; ortalama derinliği 4 m olan rezervuarda farklı fiziko-kimyasal özelliklere sahip iki istasyon belirlenmiştir. Amonyum salınım oranları istasyonlar arasında farklılık göstermezken, sonbahar sirkülasyonu da amonyum salınımını belirgin ölçüde etkilememiştir.

Enrich ve arkadaşları tarafından (2016) yürütölen bir çalışmada oksijen tüketime ve substrat varlığının düzenlenmesi ile ilgili aerobik organik madde minerilizasyonunun, kıyı tropik ekosistemlerde su kütlelerindeki azot dinamiğinin kontrol edilmesindeki önemi oldukça büyüktür. Sedimentte mikrobiyal aktivitenin varlığı, organik madde asimilasyonu kaynaklı oksijen tüketiminin ve azot konsantrasyonunun ayarlanmasına katkıda bulunurken azot dönüşüm oranları da etkilenmektedir. İncelenen saha örneklerinde azotun indirgeyici faktör olduğu, NO₃ konsantrasyonunun ise düzenleyici ana faktör olduğu ifade edilmiştir. Denitrifikasyon oranının düşük olmasının anaerobik nitrati indirgeyen organizmaların aktivitesine bağlı olduğu bildirilmiştir.

2.6 Sediment ve Sediment Gözenek Suyunda pH

Ram ve Zingde (2000) tarafından, Gorai Deresi'nde (Bombay, Hindistan) farklı derinlikteki sediment kesitlerinden elde edilen sediment gözenek sularında klorinite, pH, alkalinite ve besin elementlerinin değişimi incelenmiştir. Aerobik oksidasyona bağlı olarak, inorganik besin elementlerinin (NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N, PO₄-P), sedimentin 0-4 cm'lik bölümünde biriktiği tespit edilmiştir.

Coaochun County Jiangsu bölgesindeki bir gölden toplanan *Myriophyllum verticillatum* bitkilerinin dekompozisyon sürecinde 16s RNA bakteri geni ve sediment üstü suda biyokütle besin elementleri ile çözünmüş organik madde konsantrasyonlarının araştırılması için 55 günlük deneysel bir çalışma yürütölmüştür. Dekompozisyon süresince sediment üstü suda toplam organik karbon, toplam azot ve organik azot konsantrasyonları artış göstermiştir. Dekompozisyon oranları; pH, toplam organik karbon, oksidasyon redüksiyon potansiyeli ve çözünmüş oksijen ile pozitif etkileşimli iken sediment üstü suyun sıcaklığı ile negatif ilişkili olarak tespit edilmiştir (Zhang vd. 2018).

Hanghu Gölü, besleyici dereleri ve etrafındaki yerleşim yerlerinin fazla olması açısından göle antropojenik kaynaklı girdi oranı yüksek olarak bildirilmiştir (Yao vd. 2016). Hanghu Gölü'nde 18 noktadan yaklaşık 7 cm derinlikten alınan sediment örnekleri mevsimsel olarak araştırılmış olup gölde sedimentte potansiyel nitrifikasyon

oranları inkubasyon sırasında NO_3 konsantrasyonundaki değişimin inkubasyon süresi ve sediment ağırlığına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada, gölde denitrifikasyon oranının 0,03'den 3,05 $\text{ng N g}^{-1}\text{h}^{-1}$ 'e yükseldiği tespit edilmiştir. Çalışmada, sedimentte denitrifikasyon ve N_2O salınım oranları sırasıyla; aralık ve haziran aylarında en yüksek değerle belirgin bir mevsimsel model göstermiştir. Sedimentte denitrifikasyon ve N_2O üretim oranları, sıcaklık ile pozitif ilişkili iken yaz aylarına ait değerler kış aylarına oranla daha yüksek tespit edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda sualtı bitki örtüsünün varlığı, yüz ölçümü büyük ve sığ gölde sediment denitrifikasyonu ve N_2O salınımı üzerinde önemli bir etki yaratmamıştır. Buna karşın mevsimsel değişim, sediment özellikleri ile tüm azot döngü süreçleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Çalışma kapsamında ötrofik göllerde azot kirlilik etkilerinin çoğunun karasal ekosistemden kaynaklı olduğu ve kontrol edilebileceği vurgulanmıştır.

Hou vd. (2013) Çin'in kuzeybatısındaki sığ bir göl olan Daihai Gölü sedimentinde besin elementi salınımı üzerine çevresel faktörlerin etkisini araştırmışlardır. Hiperötrofik olan bu gölde suyun $\text{NH}_4\text{-N}$ değeri 0,01-0,06 mg/L, $\text{NO}_2\text{-N}$ değeri 0,00-0,04 mg/L ve $\text{NO}_3\text{-N}$ değeri 0,1-0,26 mg/L olarak saptanmıştır. Gölde besin elementi azot ve fosfor salınımını dolaylı olarak etkilemiştir. Araştırmacılar ışığın alg biyomasını artırdığını, sudaki azot ve fosfor konsantrasyonunu azalttığını böylece besin elementi salınımını dolaylı olarak engellediğini ve yüksek pH'nın salınımı teşvik ettiğini bildirmişlerdir.

Nitrat, sudaki yüksek çözünürlüğü nedeniyle, küresel ölçekte en yaygın yeraltı suyu kirleticisidir ve insan sağlığı için ciddi bir tehdit oluşturarak ötrofikasyona katkıda bulunur. Nitrat giderimi için uygulanan çeşitli arıtma teknolojileri arasında, adsorpsiyon çalışmaları üzerinde durularak özellikle mineral bazlı ve/veya yüzey modifiye edilmiş absorbantlarla tatmin edici sonuçlar elde edilebilmiştir. Bhatnagor ve Sillanpaa (2011) tarafından adsorbsiyon kapasitelerine yönelik yapılan çalışmada, literatürde belirlenen çeşitli sorbentlerin kapsamlı bir listesi derlenmiştir. Sucul ekosistemlerde NO_3 uzaklaştırılmasına dair geniş çaplı bir derleme çalışması yapılmış olup bu kapsamda kullanılabilecek adsorbanların çift katmanlı, hidroksitler/hidrotalsit tipi bileşikler ve modifiye kitosanların, geleneksel adsorbanlardan daha yüksek oranda NO_3 uzaklaştırdığını bildirmişlerdir.

Bohai Denizi batısında yer alan Bohai Koyu sığ ve yarı kapalı bir havzadır ve on nehirden daha fazla akarsu bu bölgeye deşarj olmaktadır. Bölgede 38 farklı noktadan mevsimsel olarak su ve sediment örnekleri alınmıştır. Mevsimsel değişim incelendiğinde çözünmüş inorganik azotun bahar periyodunda yüzey su ve dip suda akümüle olduğu saptanmıştır. Bohai Denizi'nde sedimentin amonyum açısından bir kaynak, nitrat ve nitrit açısından bir tuzak olduğu ortaya konmuştur. Çözünmüş inorganik azotun bentik salınımının % 88'ini amonyum oluşturmaktadır. Toplam çözünmüş inorganik azot konsantrasyonu mevsimsel değişimleri açısından en yüksek değer baharda; yaz mevsiminde bir azalış gözlenirken, sonbaharda da bir akümülayon tespit edilmiştir. Kış periyodundaki çözünmüş inorganik azot akümülayonu baharda fitoplankton büyümesini destekleyen artan sıcaklığa paralel olarak azalmaktadır. En düşük çözünmüş inorganik azot yaz aylarında oluşmakta sonbaharda ise ölü fitoplankton ve karasal yük girdisi ile tekrar bir iyileşme meydana gelmektedir (Liu vd. 2019).

2.7 Göllerde Besin Elementi Döngüsü

Özkundakçı ve arkadaşları (2011) Yeni Zelanda'daki küçük sığ ve ötrofik bir göl olan Okano Gölü'nde modifiye zeolit kullanımı ile sedimentten olan besin elementi salınımını araştırmışlardır. Besin elementi inaktivasyonu açısından kalsit, modifiye kil mineralleri ve demir bileşenleri iç yüklemeyi azaltmak, geçici de olsa besin elementlerini bağlayarak sedimentte hapsetmek amacıyla kullanılabilir. Okano Gölü'nde alüminyumla zenginleştirilmiş modifiye zeolit besin elementi inaktivasyon ajanı olarak kullanılmıştır. Mevsimsel tabakalaşma esnasında anoksik sediment katmanından besin elementi salınımını azaltmak için alüminyum, zenginleştirilmiş zeolit minerali güçlü bir katyon absorbslayıcı olarak uygulanmıştır. Laboratuvar denemeleri ve sediment kor inkübasyonları sonucunda bu mineralin doğal absorbsiyon kapasitesinin 4,5 NH₄-N mg/m²gün olduğu tespit edilmiş olup birçok örnekte suyun NO₂-N akümülayon oranı 207 ile -145 mg N/m²gün arasında değişmiştir. Hipolimniyonda organik azot mineralizasyonu tabakalaşma periyodu öncesi daha yüksek seyrederek 363 mg/m²gün olarak tahmin edilmiştir. Fitoplankton tarafından dip sudaki amonyum azotu kullanımı kasım ayı boyunca -267 mg N/m² gün; Ekim ayında

ise ortalama 9,4 mg N/m² gün olarak saptanmıştır. Amonyum azotunun sedimentten sediment üstü suyu salınımı kasım ayında 440 mg N/m² gün ile maksimum seviyeye ulaşırken ekim ayında -251 mg N/m² gün ile minimum seviyede tahmin edilmiştir. Hipolimnetik sedimentler, yaz tabakalaşması boyunca amonyum salınımı açısından kaynak veya tuzak görevi üstlenmektedir.

Bakri ve Chowdhury (2006), Avustralya’da içme suyu olarak kullanılan bir rezervuarda iç kaynaklı besin elementi salınımını araştırmışlardır. Dip sedimentinin amonyum-azotu ve filtre edilmiş ortofosfat (SRP) açısından bir kaynak, nitrat-azotu içinse bir rezerv olduğunu tespit etmişlerdir. Su sıcaklığı ve çözülmüş oksijen, besin elementlerinin salınımını ve iç kaynaklı besin elementi yüklemesini etkileyen en önemli faktörler olarak belirlenmiştir.

Besin elementleri ile ilişkili su kalitesi sorunlarına maruz kalan ve Los Angeles Şehir Parkı’nda bulunan Machado Gölü’nde, sedimentten amonyum, nitrat ve fosfatın salınım düzeyleri araştırılmıştır; kuru dönem olan yaz periyodunda sedimentten yüzey suyuna azot ve fosfatın remobilizasyonunun, bu besin elementlerinin en önemli kaynağı olduğu tespit edilmiştir (Anonymous 2007).

Alg patlamalarının olduğu mevsimlerde sudaki çözülmüş inorganik azot konsantrasyonu azalmakta bu durum ise suda azot kullanımını sınırlamaktadır. Deneysel çalışmalar, mikrosist patlamalarının önemli ölçüde azaltılabileceği, farklı katmanlarda azot eksikliğinin değişken olacağı ve anahtar mekanizmayı da etkileyebileceğini ortaya koymuştur. Asimilasyon, suyun üst katmanında azot azaltımı için bir yolken denitrifikasyon sediment-su ara yüzeyinde ve sediment üstü suda önemli bir role sahiptir. Shen vd. (2020) Dianshan Gölü’nde yürüttükleri bir çalışmada, stabil azot izotop deneyleri, sediment-su ara yüzeyindeki nitrat azaltım etkinliğinin Microcystis populasyon yoğunluğunun % 76,5 ile 84,7 arasındaki oranı sayesinde engellendiğini ortaya koymuştur. Nitrat indirgenmesinde % 63,8 ile % 67,3 arasındaki dissimilasyon sorumlu iken, denitrifikasyon oranı 7,4-8,5 katlık bir değişimden sorumlu bulunmuştur suda microcystis patlamaları karanlık ve oksijensiz koşulların oluşumunu bu ise denitrifikasyon sürecini tetiklemiştir. Ötrofik göllerde azot dinamikleri,

mevsimsel olarak değişirken azot limitasyonu genellikle yaz ve sonbahar mevsiminde ortaya çıkmaktadır. Denitrifikasyon sediment-su ara yüzeyinde gerçekleşirken göllerde azot azalmasının temel sebebi olarak bilinmektedir. Denitrifikasyon prosesinde, anoksik koşullar, denitrifikatörler ve canlı tarafından kullanılabilen karbon kaynakları kontrol eden üç ana mekanizmadır. Bu çalışmanın sonuçları denitrifikasyon için gerekli ideal koşulların sediment-su ara yüzeyinde ve sediment üstü suda alg patlamaları döneminde oluştuğunu ve bunun da azot indirgenmesini sağladığını ortaya koymuştur.

Liu vd. (2011) Antarktika kıyılarında alg popölasyonunca zengin üç farklı gölün litoral bölgelerinde yaz periyodunda su-hava ara yüzeyinde N₂O salınımını araştırmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda N₂O salınımının geniş bir mevsimsel ve yersel varyasyon gösterdiği saptanmıştır. N₂O salınımının sedimentte nitrat azotu konsantrasyonu ile bir bağlantısı olduğu vurgulanmıştır. Salınımın mevsimsel değişimi; güneş ışınları ve hava sıcaklığı ile pozitif ilişkili iken su derinliği ile negatif ilişkili olarak tespit edilmiştir.

2.8 Mogan Gölü'ne İlişkin Çalışmalar

Mogan Gölü, Gölbaşı Özel Çevre Koruma Bölgesi sınırında olup aynı zamanda ülkemizde Ramsar'a aday gösterilen önemli bir sulak alandır. Göle, Kesikköprü Baraj Gölü'nden yıllık yaklaşık 4,5 milyon m³ su verilmektedir. İlk su takviyesine 2010 yılında başlanmış olup sadece kurak dönemlerde su verilirken 2014 yılı itibariyle su takviyesi Temmuz-Eylül ayları arasında gerçekleştirilmiştir. "Türkiye'de Havza Bazında Hassas Alanların ve Su Kalitesi Hedeflerinin Belirlenmesi Projesi" kapsamında Carlson Trofik İndeksine dayalı olarak da trofik durum değerlendirmesi yapılmış olup, gölün hipertrofik (çok kirli su) seviyede olduğu tespit edilmiş, amonyum azotu açısından limit aşımı belirlenmiştir. Mogan Gölü bir bölümünde sazlık ve bataklık alanları içerirken, çevresinde yerleşim alanları ve turistik tesisler oldukça fazladır. Gölde, mevsimsel geçişler nedeniyle, su sıcaklığının değişmesi, göl suyundaki azot ve fosforun yaz aylarında artması ve dip sedimentinden kaynaklanan azot-fosforun etkisiyle alglerdeki ani artışa bağlı olarak göl dibindeki oksijen miktarının düşmesi sonucunda ani balık ölümleri gerçekleşmektedir (Anonim 2016).

Mogan Gölü'nü çevreleyen yüksek yapılı sucul bitkilerin yıllık ve mevsimsel azot tutma kapasitelerinin araştırıldığı bir modelleme çalışmasında, mevsimsel sıcaklık dalgalanmaları, azot ve su akış oranlarının sulak alanlarda potansiyel azot tutulumu üzerine etkili olduğunu ortaya koymuştur (Gökmen 2004).

Mogan ve Eymir Göllerine ait su kalitesi ve kirlilik kaynaklarının sisteme olan etkilerini belirlemek amacıyla yürütülen bir çalışmada, su kalitesine ilişkin parametrelerin göle giriş yapan akarsu kaynaklarından ve rekreasyonel aktivitelerden etkilendiği bildirilmiştir (Karakoç vd. 2003).

Mogan Gölü'nde kirlilik incelemesi kapsamındaki bir araştırmada gölün orta, kuzey ve güney uçlarıyla besleyen derelerin toplam azot, toplam fosfor, askıda katı madde ve pH düzeyleri Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne ait değerlerin üzerinde bulunmuştur. Kirliliğin en yoğun olduğu alanın kuzey bölgesinde Sukesen Deresi'nden kaynaklandığı belirtilmiştir (Kapan 2011).

Yerli vd. (2012) tarafından Mogan Gölü'nde fitoplankton komünitesi, besin elementleri ve Klorofil-a'ya ait güncel ve önceki verinin karşılaştırılmasının amaçlandığı çalışmada gölün besin seviyesi dış kaynaklı evsel atık girdisi başta olmak üzere bazı antropojenik etkilerden dolayı ötrofik düzeyde tespit edilmiştir.

Mogan Gölü'nde yerel yönetim tarafından yapılan çalışmalar öncelikli olarak dip sedimenti temizleme çalışmaları, bölgesel makrofit hasatı ve göle yapılan akarsu takviyesini kapsayan bazı göl yönetim uygulamaları olarak sıralanabilir. Mogan Gölü'nün besin düzeyi üzerinde yapılan araştırmalar kapsamında; yüksek dış kaynaklı fosfor yükü (Fakıoğlu ve Pulatsü 2005) yanında iç kaynaklı fosfor yükü payının çok düşük olduğu belirlenmiştir (Topçu ve Pulatsü 2008). Sedimentten fosfor salınımı olarak ifade edilen iç kaynaklı fosfor yükünün düşük kalmasında etkisi olan su ve sedimente ilişkin bir takım fiziko-kimyasal faktörler de bilimsel olarak tespit edilmiştir (Topçu ve Pulatsü 2008, Pulatsü ve Topçu 2009). Sedimentin kimyasal kompozisyonu ve sedimentteki fosfor hareketliliğinin belirlenmesini içeren çalışmada fosfor salınım değerleri (0,1754 ile 1,1249 mg/m².gün) bağlamında sedimentin adsorpsiyon

kapasitesinin belirlenerek kritik değerin saptanması gerekliliği ortaya konmuştur (Topçu ve Pulatsü 2017).

Mogan Gölü'nde Nisan, Temmuz ve Ekim 2015 ve Ocak 2016'da sediment fosfor sorpsiyon özelliklerinin belirlenmesine yönelik bir çalışmada sedimentten fosfor salınımının engellenebilmesi için sediment üstü suda kritik fosfor konsantrasyon limiti tahmin edilmiştir. Sediment fosfor adsorpsiyonu teorik olarak 421 -1001 mgP kg⁻¹ arasında değişirken fosfor sorpsiyon etkinliği 0.21-1.92 L mg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında sedimentten suya olan fosfor salınımının etkinliği açısından sediment üstü su SRP değeriinin dikkate alınması gerektiği ortaya konmuştur (Topçu vd. 2018).

Akkoyunlu ve Karaaslan (2015) AQUATOX Simölasyon Modeli ile Mogan Gölü'nün su kalitesi açısından parametrelerin sucul-sedimentteki organizmalar üzerine toksik etki düzeyini belirlemek adına geliştirilmiş senaryolar tahmin etmişlerdir. Göldeki yüksek düzeyde azot konsantrasyonunun dış kirletici yüklerin eliminasyonu gerçekleştirilmediği durumda 2020 yılında gölün besin düzeyinin ötrofikten hipertrofiğe, gerekli önlemlerin alınması dahilinde ise mezotrofiğe dönmesinin olası olduğunu bildirmişlerdir.

3. MATERİYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

Araştırma yeri:

Araştırma alanı olan Mogan Gölü, Ankara Çayı Alt Havzası'nda ve Ankara'nın 20 km güneyinde Ankara-Konya yolu üzerinde yer alan, büyük oranda yağış ve irili ufaklı beşten fazla dereden gelen sularla beslenen alüvyal set gölüdür. Normal su kotu 972 m, normal su kotunda göl alanı 664 km², göl ortalama derinliği 3-5 m ve normal su seviyesinde göl hacmi 13,34 milyon m³'tür. Mogan Gölü'nde yeraltı suyu beslemesi oldukça düşük olup su girdisi yazları genelde kuruyan düzensiz rejimli dereler vasıtasıyla olmaktadır. Bu derelerin en önemlileri havzanın doğu-kuzeybatı kesimlerinde yer alan Sukesen, Başpınar, Gölova, Yavrucak, Çolakpınar, Tatlım, Kaldırım ve Gölcük dereleridir. Söz konusu derelerin Mogan Gölü'ne ulaştığı düzgün topoğrafyalı çok düşük eğimli alanlar ile Mogan-Eymir bağlantısını sağlayan alanda, hidrojeolojik, hidrolojik, iklimatik ve biyolojik açıdan çok büyük önem arz eden sulak ve bataklık alanlar oluşmuştur (Anonim 2016).

Bu alanlar; göller için yeraltı suyu depolama ve kurak mevsimlerde göle su sağlama gibi işlevlere sahiptir. Mogan Gölü'nün suları, kuzeydoğusundaki regülatör kontrolünde tamamı Ortadoğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) arazisi içerisinde yer alan Eymir Gölü'ne akmaktadır. Mogan Gölü, Gölbaşı Özel Çevre Koruma Bölgesi sınırında olup aynı zamanda ülkemizde Ramsar'a aday gösterilen önemli sulak alanlardandır. Mogan Gölü'ne, Kesikköprü Baraj Gölü'nden yıllık yaklaşık 4,5 milyon m³ su verilmektedir. İlk su takviyesine 2010 yılında başlanmış olup sadece kurak dönemlerde su verilmektedir. 2014 yılındaki su takviyesi ise 9 Temmuz-20 Eylül 2014 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir (Anonim 2016).

Araştırma istasyonunun seçimi:

Mogan Gölü'nü temsil edeceği öngörülen taban yapısı sediment örneklerinin alımına uygun altı adet istasyon seçilmiştir. Sediment örneklerinin alındığı istasyonların çevresi

su üstü köklü bitkili olup yoğun olumsuz yapılanma ve antropojenik kaynaklı kirliliğe maruz bölgededir. Araştırma alanına ait uydu görüntüsü Şekil 3.1’de, araştırma istasyonlarına ait koordinat verileri ise Şekil 3.2’de sunulmuştur.



Şekil 3.1 Araştırma alanı uydu görüntüsü



Şekil 3.2 Mogan Gölü’nde araştırma istasyonlarına ait koordinat verileri

(■: İstasyon 1: 39°78'32" K 32°80'13" D; İstasyon 2: 39°76'48" K 32°79'64" D, İstasyon 3: 39°75'70" K 32°79'45" E, İstasyon 4: 39°77'02" K 32°78'69" D, İstasyon 5: 39°77'55" K 32°80'01" E, İstasyon 6: 39°78'44" K 32°79'21" E)

Araştırma alanında kullanılan araçlar:

Oksijenmetre ; -5°C ile +45°C arasındaki sıcaklıkları 1°C hassasiyetle, 0 ppm ile 15 ppm arasındaki çözülmüş oksijen değerlerini $\pm 0,2$ ppm hassasiyetle ölçebilen.

Taşınabilir pH metre; pH değerleri ve redoks potansiyeli ölçümlerinde $\pm 0,1^\circ\text{C}$ hassasiyetle kullanılabilir olan,

Sediment alma kepçesi; istasyonlardan yüzey sediment alımında kullanılan.

Laboratuvarda kullanılan araçlar:

Spektrofotometre: 400-800 nm dalga boylarında okuma yapabilen,

Santrifüj; devir sayısı 3.000-20.000 rpm olan,

Laboratuvar tipi dijital pH metre; tampon çözeltilerle kalibre edilmiş, $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ hassasiyette,

Saf su cihazı: Su analizlerinde ihtiyaç duyulan kimyasalların hazırlanmasında kullanılan,

Hassas terazi: Su analizlerinde ihtiyaç duyulan kimyasalların hazırlanmasında ve sediment örneklerinde su içeriğinin tayininde kullanılan,

Kül fırını: Sedimentte Organik Madde tayininde kullanılan,

Whatman GF/C filtre kâğıtları: $0,45\ \mu\text{m}$ göz açıklığı bulunan sediment gözenek suyu ve filtre edilen sediment üstü su eldesinde kullanılan,

Sarf malzemeler: Kimyasal ve cam malzemelerden oluşan.

3.2 Yöntem

3.2.1 Saha çalışması

3.2.1.1 Sediment örneklerinin alınması

Bu araştırmada Mogan Gölü'nde yüzey sediment örnekleri Şekil 3.2'de sunulan istasyonlardan yağışlı (Ekim 2018) ve kurak (Temmuz 2019) dönem olmak üzere iki farklı periyotta sediment kepçesiyle alınmıştır.

Sediment alma kepçesi ile alınan sediment örnekleri, koyu renkli polietilen kaplarda laboratuvara ulaştırılmıştır. Sediment örneklerinde redoks potansiyeli ölçümleri redoks potansiyel ölçüm probu uyumlu pH metre ile yerinde ölçülmüştür. Sediment

materyali Şekil 3.1’de gösterilen yoğun çevre baskısına maruz olan istasyonlardan alınmış yüzey sediment örnekleri koyu renkli naylon kaplarda ve soğuk ortamda ışık geçişini engelleyecek şekilde laboratuvara ulaştırılmıştır.

3.2.1.2 Sediment üstü suyun alınması

Sediment üstü su araştırma için belirlenen istasyonlardan sedimentin yaklaşık 10 cm üzerinden sifonlanarak alınmıştır. Bu suda oksijenmetre ile su sıcaklığı ve çözünmüş oksijen miktarı belirlenmiş, pH değerleri ise arazi tipi taşınabilir pH metre ile sahada ölçülmüştür. Sediment üstü su temini ile pH ve çözünmüş oksijen tayini, sediment örneklerinin hemen üstündeki su sifonlanarak alınmış, su örneklerinde oksijen ve pH ölçümleri yapılarak analizler için laboratuvara ulaştırılmıştır.

3.2.2 Laboratuvar çalışması

3.2.2.1 Sediment üstü su analizleri

Her bir istasyondan iki dönemde elde edilen sediment üstü su örnekleri 0.45 µm milipore filtre kâğıdından süzildükten sonra analiz yapılincaya kadar +4°C’de saklanmıştır. Bu su örneklerinde amonyum (NH_4^+) konsantrasyonu Fenat metodu, NH_3^+ konsantrasyonu Nessler metodu, nitrat (NO_3^-) konsantrasyonu brucine-sulfate metodu ile ve fosfor fraksiyonları APHA (1995)’e göre spektrofotometrik olarak tayin edilmiştir.

3.2.2.2 Sediment gözenek suyunun eldesi ve analizleri

Sediment gözenek suyu, sediment örneklerinin 3000 rpm’de 20 dakika santrifüj işlemini takiben üst kısımda biriken berrak sıvının bir pipet yardımıyla alınarak 0,45 µm membran filtreden süzülmesi ile elde edilmiştir. Filtre edilen sediment gözenek suyunda amonyak (NH_3^+) konsantrasyonu Nessler metodu, nitrat (NO_3^-) konsantrasyonu brucine-sulfate metodu, amonyum (NH_4) konsantrasyonu Fenat metodu ile ve toplam filtre

edilebilir fosfor (TFF) ile toplam filtre edilebilir ortofostaf (TFO) konsantrasyonları APHA (1995)'e göre spektrofotometrik olarak tayin edilmiştir.

3.2.2.2.1 pH tayini ve redoks potansiyeli

Sediment gözenek sularının pH değerleri, ölçüm aralığı 0-14, hassasiyeti 0,01 olan arazi tipi dijital pH metre ile belirlenmiştir. Redoks potansiyeli ise pHmetre ile uyumlu redoks elektrodu ile sahada ölçülmüştür.

3.2.2.3 Sedimente ilişkin analizler

3.2.2.3.1 Su içeriği tayini (%)

Sedimentin su içeriği, örneklerin 110°C'de 16 saat kurutma öncesi ve sonrası tartılan kütleleri arasındaki farktan Shrestha ve Lin (1996)'e göre hesaplanmıştır.

3.2.2.3.2 Organik madde tayini (OM)

Havada kurutulmuş sediment örneğinin 0.5 mm'lik elekten geçirilmesinden sonra örneğin 550°C'de 2 saat yakılmadan önceki ve sonraki tartım ağırlıkları kaybını dikkate alarak Kacar (1995)'e göre belirlenmiştir.

3.2.2.3.3 Toplam karbon (%)

Toplam organik karbon değerleri Organik Karbon Analizör cihazı kullanılarak Kacar (1995)'e göre belirlenmiştir.

3.2.2.3.4 Toplam azot (%)

Toplam azot değerleri Toplam Azot Ölçüm Ünitesi kullanılarak Kacar (1995)'e göre saptanmıştır.

3.2.2.4 Sedimentten amonyum ve nitrat salınımının hesaplanması

Sedimentten göl suyuna moleküler difüzyonla olan amonyum ve nitrat salınımının hesaplanmasında Lavery vd. (2001)' in belirttiği formüller kullanılmıştır.

$$F = -\phi.D. \Delta C / (\Delta z)$$

ϕ = Sedimentin (%) su içeriği (porozite)

D = Moleküler difüzyon katsayısı (NH_4^+ için $D = 1.4 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, NO_3^- için $D = 8.5 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)

ΔC = Salınımın hesaplanacağı kesitler arası amonyum konsantrasyon [NH_4^+] ve nitrat konsantrasyon [NO_3^-] farkı

Δz = Salınımın hesaplanacağı kesitler arası mesafe (0.05 m)

3.2.3 İstatistikî analizler

Mogan Gölü'ne ait sediment üstü su, sediment gözenek suyu ve sedimente ilişkin verilerin istatistikî değerlendirilmesinde Minitab ve Mstat Programlarının kullanımı; istasyon karşılaştırmalarında varyans analiz tekniği, Duncan testi ve dönem karşılaştırılmalarında t-testi tekniği ile Kesici ve Kocabaş (2007)'in belirttiği esaslara göre yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Mogan Gölü'nde Sediment Üstü Su Analizlerine İlişkin Sonuçlar

Mogan Gölü'nde belirlenen 6 adet istasyondan alınan su örneklerinde çözünmüş oksijen, pH, su sıcaklığı ve redoks değerleri ölçülmüş, azot fraksiyonları (NH_3 , filtrelenmiş sudaki NH_3 , NH_4 , filtrelenmiş sudaki NH_4 , NO_3 ve filtrelenmiş sudaki NO_3 konsantrasyonları ile fosfor fraksiyonları (TO, TF, TFO, TFF) konsantrasyonları belirlenmiştir. Sediment üstü su örneklerinde saptanan söz konusu parametrelerin istasyonlar ve dönemler bazında ortalamalar arası farklılıkları ($p < 0.05$)'e göre istatistik olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3).

4.1.1 Çözünmüş oksijen

Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası çözünmüş oksijen değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p < 0.05$) (Çizelge 4.1). Islak dönemde en düşük çözünmüş oksijen değeri dördüncü istasyonda $4,62 \pm 0,01$ mg/L, en yüksek değer ise birinci istasyonda $10,50 \pm 0,08$ mg/L olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük çözünmüş oksijen değeri altıncı istasyonda $4,45 \pm 0,02$ mg/L, en yüksek değer ise birinci istasyonda $8,47 \pm 0,13$ mg/L olarak ölçülmüştür (Şekil 4.1).

4.1.2. pH

Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası pH değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p < 0.05$) (Çizelge 4.1). Islak dönemde en düşük pH değeri birinci istasyonda $8,65 \pm 0,58$ en yüksek değer ise beşinci istasyonda $9,40 \pm 0,01$ olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük pH değeri birinci istasyonda $8,52 \pm 0,01$ en yüksek değer ise beşinci istasyonda $8,72 \pm 0,01$ olarak ölçülmüştür (Şekil 4.2).

4.1.3 Su sıcaklığı

Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası sıcaklık değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.1). Islak dönemde en düşük su sıcaklığı değeri üçüncü istasyonda $5,48\pm0,05^{\circ}\text{C}$, en yüksek değer ise birinci istasyonda $5,85\pm0,06^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük su sıcaklığı değeri beşinci istasyonda $17,30\pm0,00^{\circ}\text{C}$ en yüksek değer ise birinci istasyonda $18,55\pm0,06^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür (Şekil 4.3).

4.1.4 Redoks

Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası redoks değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.1). Islak dönemde en düşük redoks değeri birinci istasyonda $-115,00 \pm 0,00 \text{ mV}$, en yüksek değer ise altıncı istasyonda $-84,00\pm0,82 \text{ mV}$ olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde ise en düşük redoks değeri üçüncü, dördüncü ve beşinci istasyonda $-96,00\pm0,00 \text{ mV}$, en yüksek değer ise birinci istasyonda $-86,00\pm0,0 \text{ mV}$ olarak ölçülmüştür (Şekil 4.4).

4.1.5 $\text{NH}_3\text{-N}$

Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası $\text{NH}_3\text{-N}$ değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.2). Islak dönemde en düşük $\text{NH}_3\text{-N}$ değeri birinci istasyonda $0,34\pm0,00 \text{ mg/L}$, en yüksek değer ise altıncı istasyonda $0,50\pm0,00 \text{ mg/L}$ olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük $\text{NH}_3\text{-N}$ değeri beşinci istasyonda $0,40\pm0,00 \text{ mg/L}$, en yüksek değer ise birinci istasyonda $0,53\pm0,00 \text{ mg/L}$ olarak ölçülmüştür (Şekil 4.5).

4.1.6 Filtreli sediment üstü sudaki NH₃-N

Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası filtreli sediment üstü sudaki NH₃-N değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.2). Islak dönemde en düşük filtreli sediment üstü sudaki NH₃-N değeri üçüncü istasyonda $0,29\pm0,00$ mg/L, en yüksek değer ise beşinci istasyonda $0,70\pm0,00$ mg/L olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük filtreli sediment üstü sudaki NH₃-N değeri altıncı istasyonda $0,36\pm0,00$ mg/L, en yüksek değer ise birinci istasyonda $0,53\pm0,00$ mg/L olarak ölçülmüştür (Şekil 4.6).

4.1.7 NH₄-N

Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası NH₄-N değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.2). Islak dönemde en düşük NH₄-N değeri birinci istasyonda $0,44\pm0,00$ mg/L, en yüksek değer ise altıncı istasyonda $0,64\pm0,00$ mg/L olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük NH₄-N değeri beşinci istasyonda $0,51\pm0,00$ mg/L, en yüksek değer ise birinci istasyonda $0,68\pm0,00$ mg/L olarak ölçülmüştür (Şekil 4.7).

4.1.8 Filtreli sediment üstü sudaki NH₄-N

Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası filtreli sediment üstü sudaki NH₄-N değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.2). Islak dönemde en düşük filtreli sediment üstü sudaki NH₄-N değeri üçüncü istasyonda $0,37\pm0,00$ mg/L, en yüksek değer ise beşinci istasyonda $0,90\pm0,00$ mg/L olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük filtreli sediment üstü sudaki NH₄-N değeri üçüncü istasyonda $0,54\pm0,00$ mg/L, en yüksek değer ise birinci istasyonda $0,68\pm0,00$ mg/L olarak ölçülmüştür (Şekil 4.8).

4.1.9 NO₃-N

Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası NO₃-N değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.2). Islak dönemde en düşük NO₃-N değeri birinci istasyonda $1,28\pm0,00$ mg/L, en yüksek değer ise altıncı istasyonda $7,74\pm0,01$ mg/L olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük NO₃-N değeri dördüncü istasyonda $0,94\pm0,00$ mg/L, en yüksek değer ise birinci istasyonda $1,19\pm0,01$ mg/L olarak ölçülmüştür (Şekil 4.9).

4.1.10 Filtreli sediment üstü sudaki NO₃-N

Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası NO₃-N filtreli değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.2). Islak dönemde en düşük filtreli sediment üstü sudaki NO₃-N değeri birinci istasyonda $1,04\pm0,00$ mg/L, en yüksek değer ise dördüncü istasyonda $4,94\pm0,00$ mg/L olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük filtreli sediment üstü sudaki NO₃-N değeri dördüncü ve beşinci istasyonlarda $1,41\pm0,01$ mg/L, en yüksek değer ise ikinci istasyonda $1,53\pm0,01$ mg/L olarak ölçülmüştür (Şekil 4.10).

4.1.11 Toplam ortofosfat

Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası toplam ortofostat değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.3). Islak dönemde en düşük toplam ortofostat değeri birinci istasyonda $0,09\pm0,00$ mg/L, en yüksek değer ise üçüncü istasyonda $0,28\pm0,00$ mg/L olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük toplam ortofostat değeri üçüncü istasyonda $0,09\pm0,00$ mg/L, en yüksek değer ise beşinci istasyonda $0,36\pm0,00$ mg/L olarak ölçülmüştür (Şekil 4.11).

4.1.12 Toplam fosfor

Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası toplam fosfor değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.3). Islak dönemde en düşük toplam fosfor değeri dördüncü istasyonda $0,20\pm0,00$ mg/L, en yüksek değer ise beşinci istasyonda $0,48\pm0,00$ mg/L olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük toplam fosfor değeri birinci istasyonda $0,11\pm0,00$ mg/L en yüksek değer ise dördüncü istasyonda $0,15\pm0,00$ mg/L olarak ölçülmüştür (Şekil 4.12).

4.1.13 Toplam filtre edilebilir ortofosfat

Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası toplam filtre edilebilir ortofosfat değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.3). Islak dönemde en düşük toplam filtre edilebilir ortofosfat değeri üçüncü ve altıncı istasyonlarda $0,01\pm0,00$ mg/L, en yüksek değer ise beşinci istasyonda $0,01\pm0,00$ mg/L olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük toplam filtre edilebilir ortofosfat değeri birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü ve altıncı istasyonlarda $0,01\pm0,00$ mg/L, en yüksek değer ise beşinci istasyonda $0,01\pm0,00$ mg/L olarak ölçülmüştür (Şekil 4.13).

4.1.14 Toplam filtre edilebilir fosfor

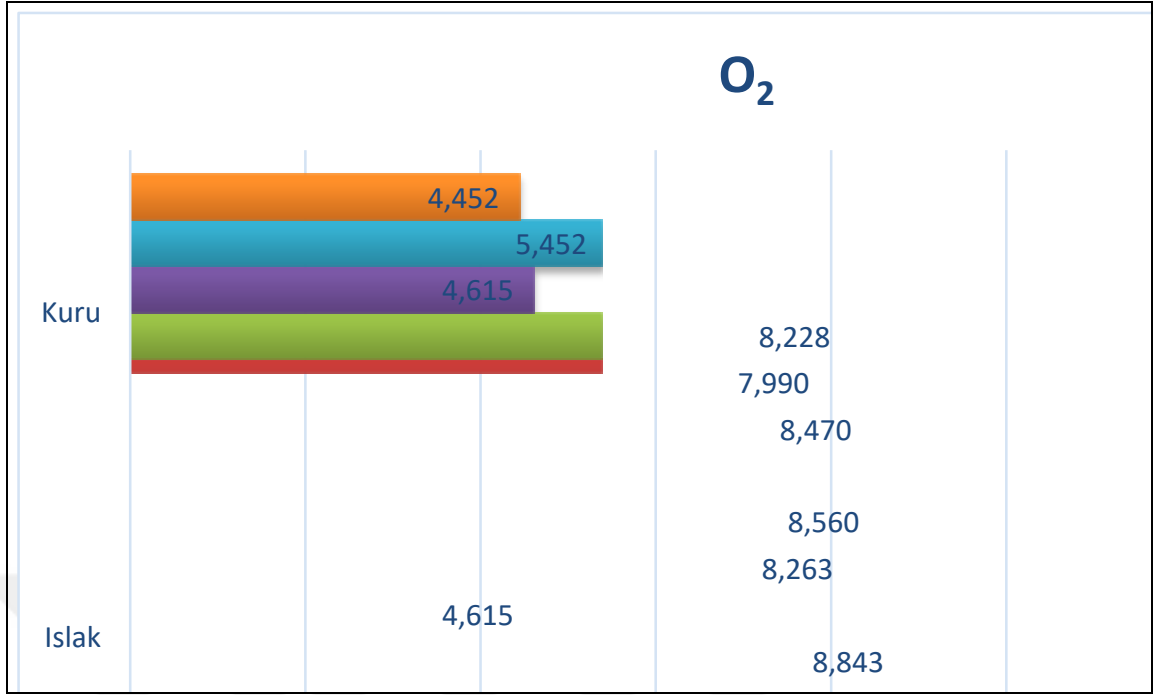
Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası toplam filtre edilebilir fosfor değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.3). Islak dönemde en düşük toplam filtre edilebilir fosfor değeri birinci istasyonda $0,09\pm0,000$ mg/L, en yüksek değer ise dördüncü istasyonda $0,12\pm0,00$ mg/L olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük toplam filtre edilebilir fosfor değeri ikinci istasyonda $0,08\pm0,00$ mg/L, en yüksek değer ise beşinci istasyonda $0,10\pm0,00$ mg/L olarak ölçülmüştür (Şekil 4.14).

Çizelge 4.1 Mogan Gölü’nde belirlenen istasyonlarda sediment üstü suya ait çözünmüş oksijen, pH, su sıcaklığı ve redoks değerlerine ilişkin verilerin ıslak ve kuru dönemlere göre değişimi

Parametre	Dönem	1. İstasyon	2. İstasyon	3. İstasyon	4. İstasyon	5. İstasyon	6. İstasyon
O₂ (mg/L)	Islak (1)	10,500±0,082 Aa	8,538±0,013 Ca	8,843±0,033 Ba	4,615±0,013 Ea	8,263±0,013 Da	8,560±0,029 Ca
	Kuru (2)	8,470±0,127 Ab	7,990±0,008 Bb	8,228±0,013 ABb	4,615±0,013 Da	5,452±0,410 Cb	4,452±0,022 Db
pH	Islak (1)	8,650±0,58 Da	9,258±0,040 Ba	9,268±0,010 Ba	9,003±0,022 Ca	9,395±0,013 Aa	9,250±0,058 Ba
	Kuru (2)	8,523±0,010 Db	8,673±0,010 Cb	8,698±0,005 Bb	8,690±0,000 Bb	8,718±0,005 Ab	8,695±0,006 Bb
Su Sıcaklığı (°C)	Islak (1)	5,850±0,058 Ab	5,575±0,050 CDb	5,475±0,050 Db	5,500±0,082 Db	5,650±0,058 BCb	5,700±0,082 Bb
	Kuru (2)	18,550±0,058 Aa	17,700±0,000 Ca	18,475±0,050 Ba	17,675±0,050 Ca	17,300±0,000 Da	17,650±0,058 Ca
Redoks (mV)	Islak (1)	-115,000±0,000 Fa	-97,000±0,000 Da	-96,000±0,000 Ca	-98,000±0,000 Ea	-95,000±0,000 Bb	-84,000±0,817 Ab
	Kuru (2)	-86,000±0,000 Ab	-94,000±0,000 Bb	-96,000±0,000 Da	-96,000±0,000 Db	-96,000±0,000 Da	-95,000±0,000 Ca

* Aynı sütunda farklı küçük harfi olan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0,5).

** Aynı satırda farklı büyük harfi olan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur (p<0,05).



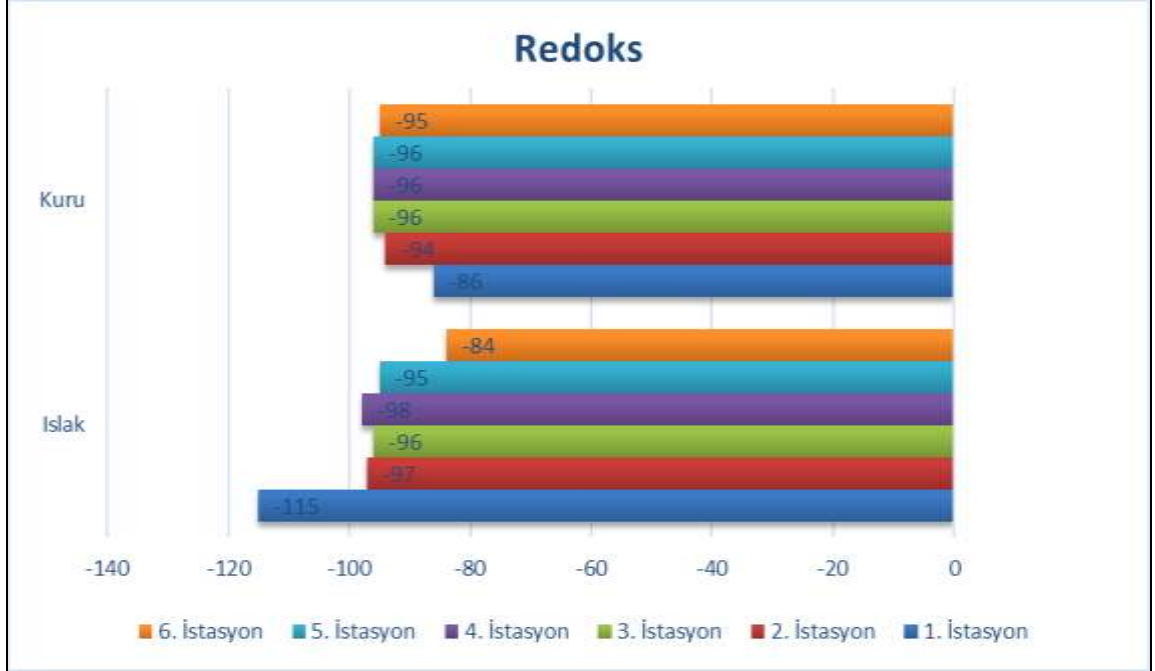
Şekil 4.1 Sediment üstü su analizlerinde O₂ değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması



Şekil 4.2 Sediment üstü su analizlerinde pH değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması



Şekil 4.3 Sediment üstü su analizlerinde su sıcaklığı değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması



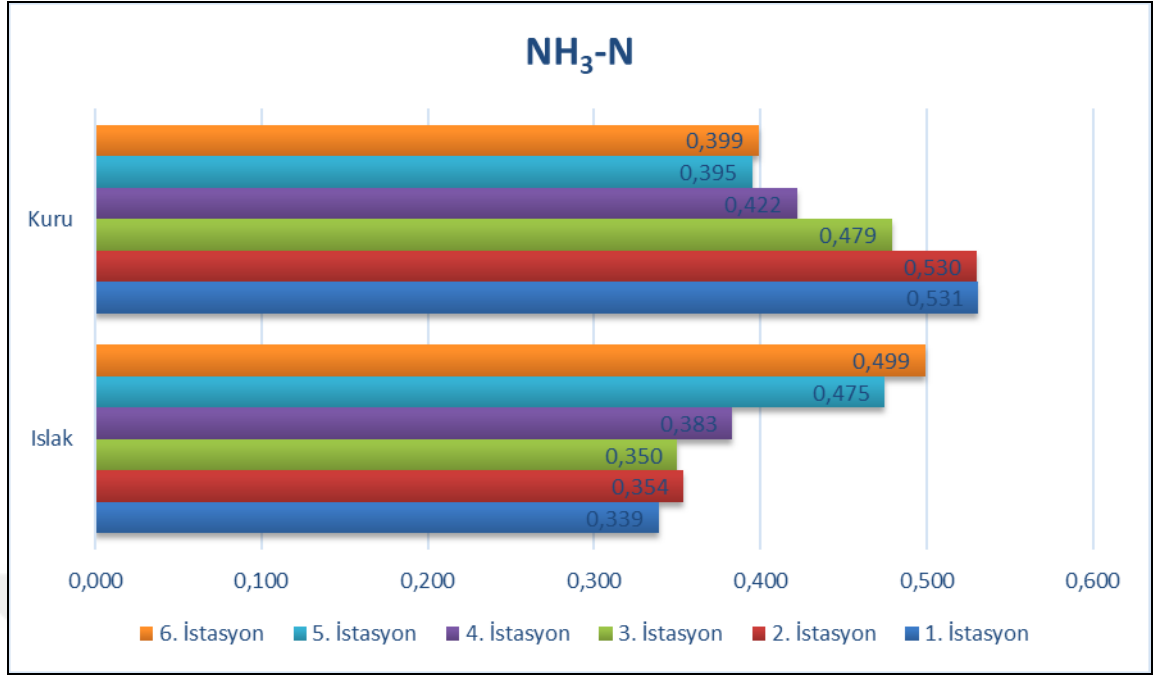
Şekil 4.4 Sediment üstü su analizlerinde redoks potansiyeli değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması

Çizelge 4.2 Mogan Gölü'nde belirlenen istasyonlarda sediment üstü suya ait azot fraksiyonlarına ilişkin verilerin ıslak ve kuru dönemlere göre değişimi

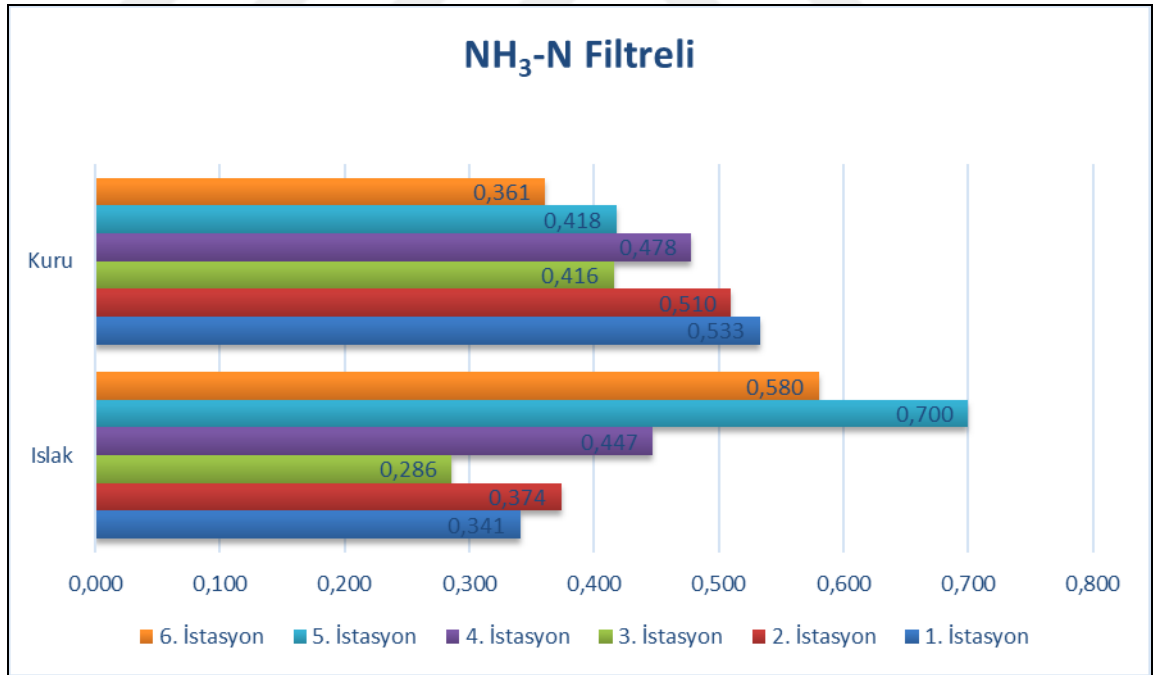
Parametre	Dönem	1. İstasyon	2. İstasyon	3. İstasyon	4. İstasyon	5. İstasyon	6. İstasyon
NH₃-N (mg/L)	Islak (1)	0,339±0,001 Fb	0,354±0,001 Eb	0,350±0,002 Db	0,383±0,001 Cb	0,475±0,001 Ba	0,499±0,002 Aa
	Kuru (2)	0,531±0,001 Aa	0,530±0,005 Aa	0,479±0,001 Ba	0,422±0,002 Ca	0,395±0,001 Db	0,399±0,002 Eb
NH₃ -N Filtreli (mg/L)	Islak (1)	0,341±0,001 Eb	0,374±0,001Db	0,286±0,002 Fb	0,447±0,011 Cb	0,700±0,002 Aa	0,580±0,002 Ba
	Kuru (2)	0,533±0,001 Aa	0,510±0,001 Ba	0,416±0,001 Ea	0,478±0,001 Ca	0,418±0,001 Db	0,361±0,002 Fb
NH₄-N (mg/L)	Islak (1)	0,437±0,002 Fb	0,455±0,001 Db	0,451±0,003 Eb	0,493±0,001 Cb	0,612±0,002 Ba	0,642±0,003 Aa
	Kuru (2)	0,684±0,001 Aa	0,682±0,007 Aa	0,617±0,002 Ba	0,544±0,002 Ca	0,509±0,001 Eb	0,514±0,002 Db
NH₄ -N Filtreli (mg/L)	Islak (1)	0,439±0,001 Eb	0,482±0,002 Db	0,369±0,002 Fb	0,575±0,014 Cb	0,902±0,002 Aa	0,747±0,003 Ba
	Kuru (2)	0,687±0,002 Aa	0,657±0,001 Ba	0,536±0,001 Ea	0,590±0,001 Ca	0,539±0,001 Db	0,465±0,003 Fb
NO₃-N (mg/L)	Islak (1)	1,277±0,005 Fb	2,272±0,007 Da	1,584±0,005 Ea	3,235±0,000 Ba	2,495±0,006 Ca	7,743±0,006 Aa
	Kuru (2)	1,186±0,005 Aa	1,053±0,000 Eb	1,160±0,005 Bb	0,941±0,004 Fb	1,075±0,005 Db	1,130±0,005 Cb
NO₃ -N Filtreli (mg/L)	Islak (1)	1,035±0,000 Fb	1,324±0,000 Db	1,228±0,005 Eb	4,937±0,000 Aa	4,371±0,005 Ba	4,056±0,006 Ca
	Kuru (2)	1,523±0,005 Aa	1,528±0,005 Aa	1,525±0,006 Aa	1,405±0,005 Cb	1,405±0,005 Cb	1,461±0,008 Bb

* Aynı sütunda farklı küçük harfi olan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0,5)

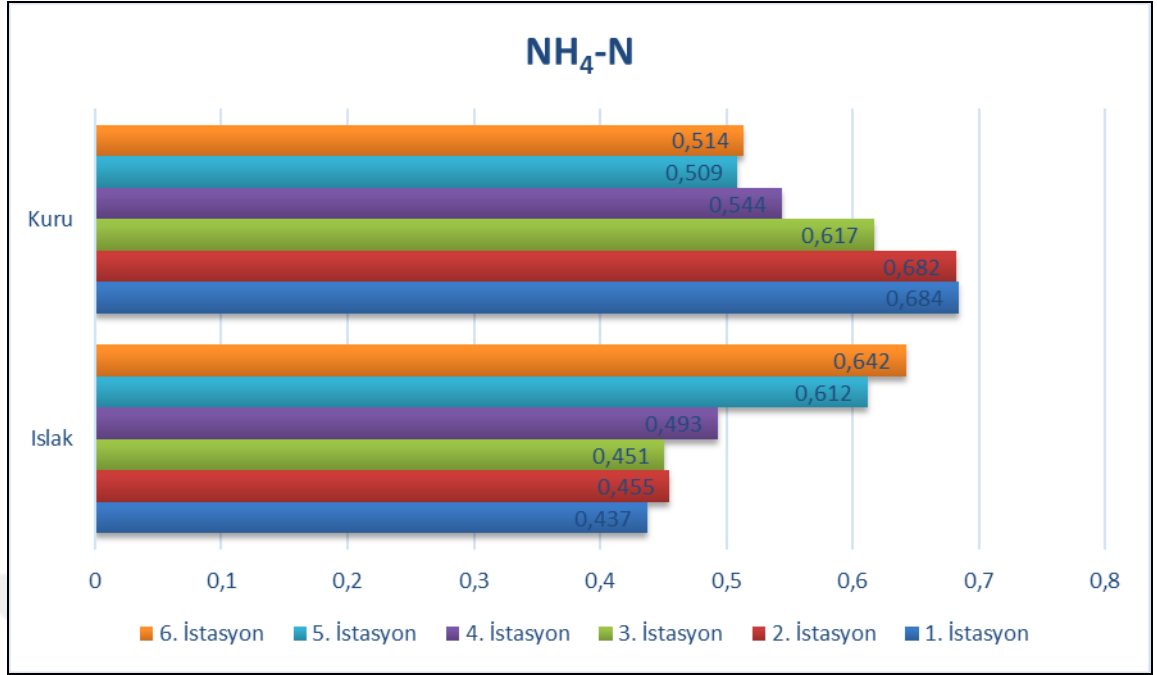
** Aynı satırda farklı büyük harfi olan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur (p<0,05)



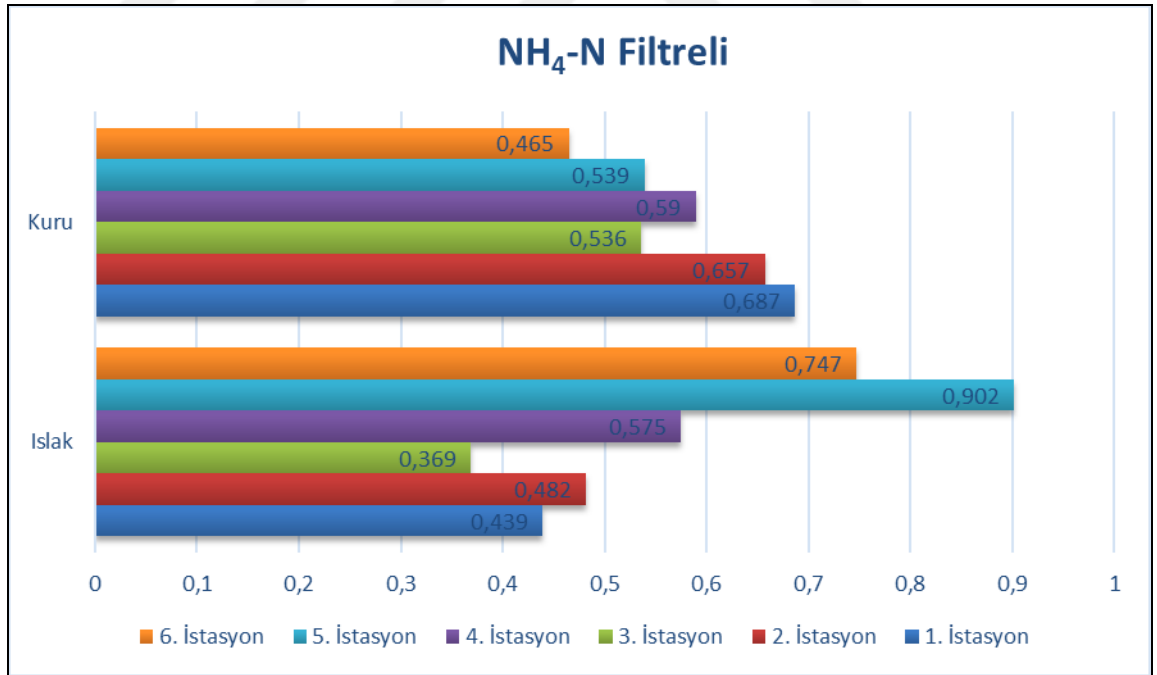
Şekil 4.5 Sediment üstü suya ait azot fraksiyonlarının NH₃-N değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması



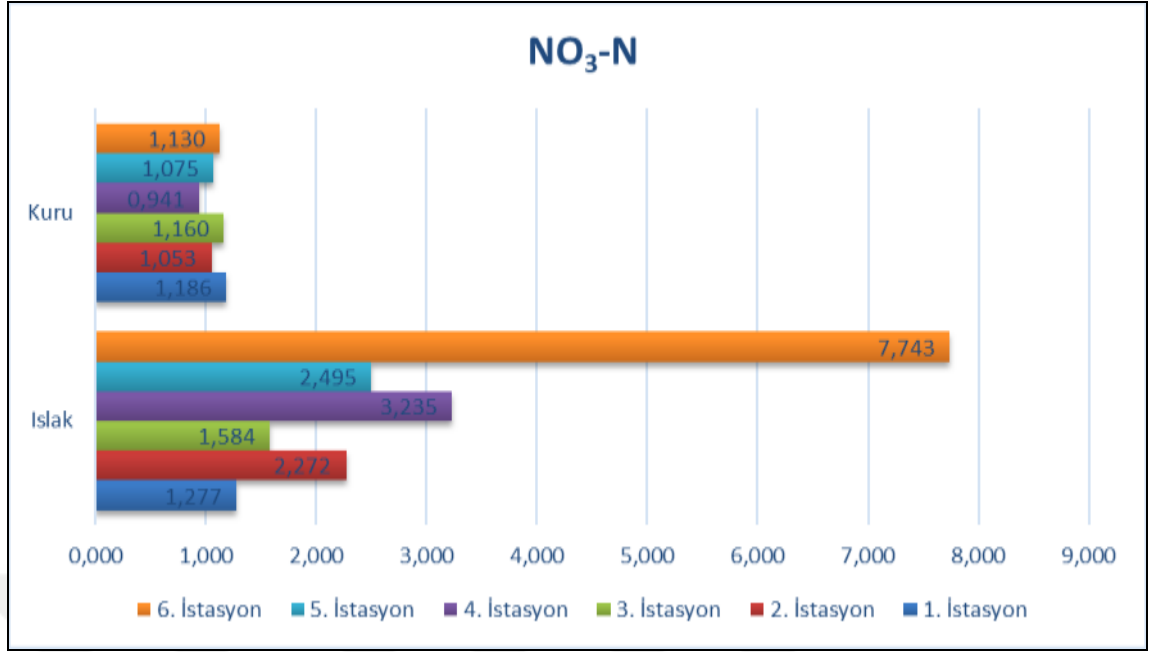
Şekil 4.6 Sediment üstü suya ait azot fraksiyonlarının NH₃-N filtreli değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması



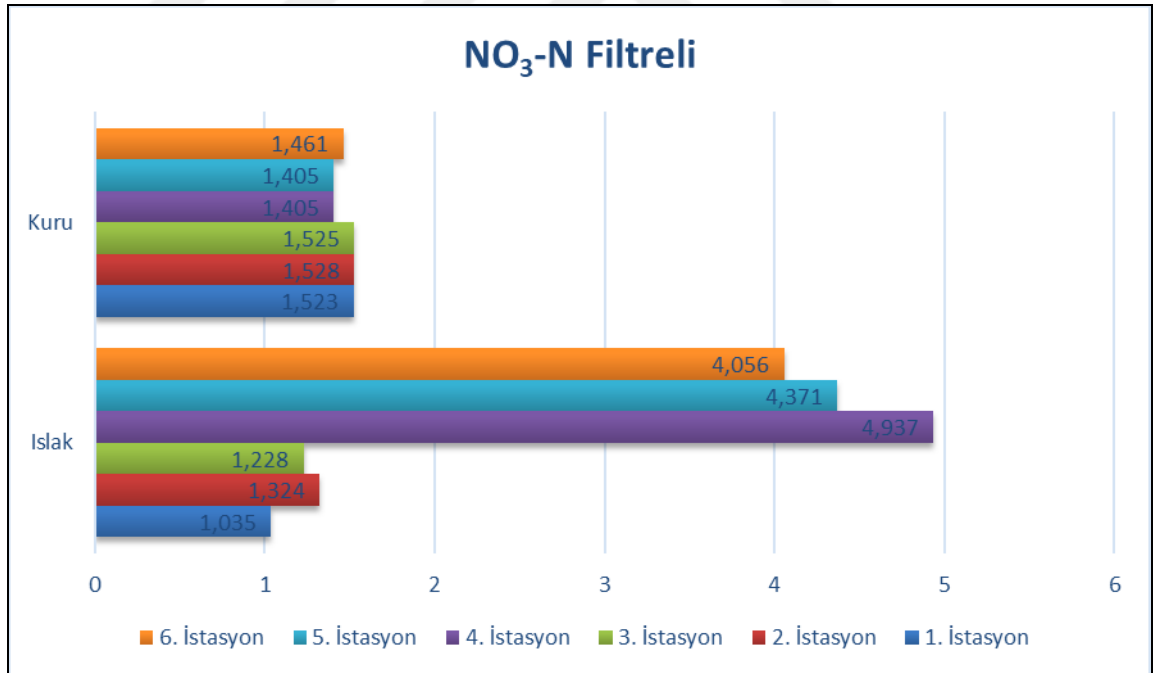
Şekil 4.7 Sediment üstü suya ait azot fraksiyonlarının NH₄-N değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması



Şekil 4.8 Sediment üstü suya ait azot fraksiyonlarının NH₄-N filtreli değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması



Şekil 4.9 Sediment üstü suya ait azot fraksiyonlarının NO₃-N değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması



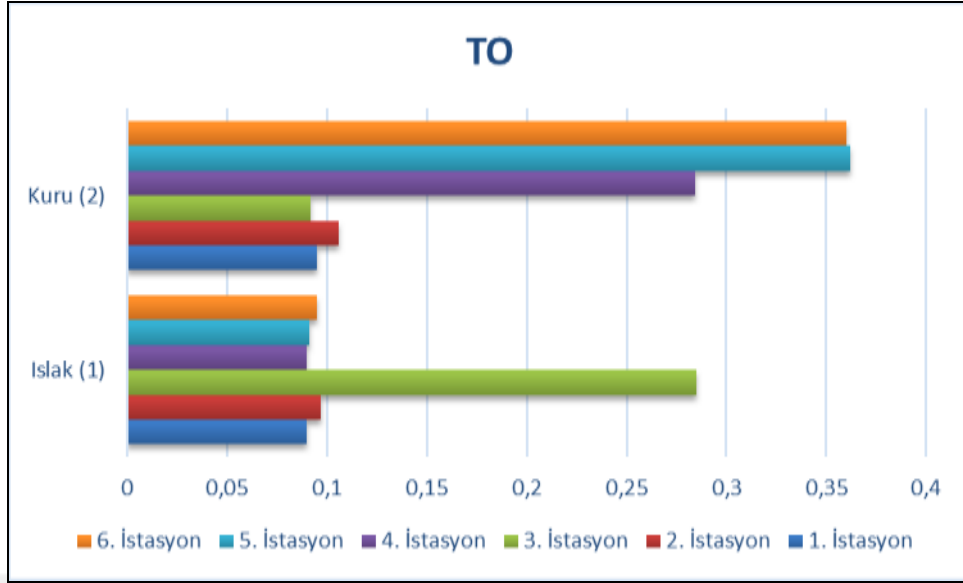
Şekil 4.10 Sediment üstü suya ait azot fraksiyonlarının NO₃-N filtreli değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması

Çizelge 4.3 Mogan Gölü’nde belirlenen istasyonlarda sediment üstü suya ait fosfor fraksiyonlarına ilişkin verilerin ıslak ve kuru dönemlere göre değişimi

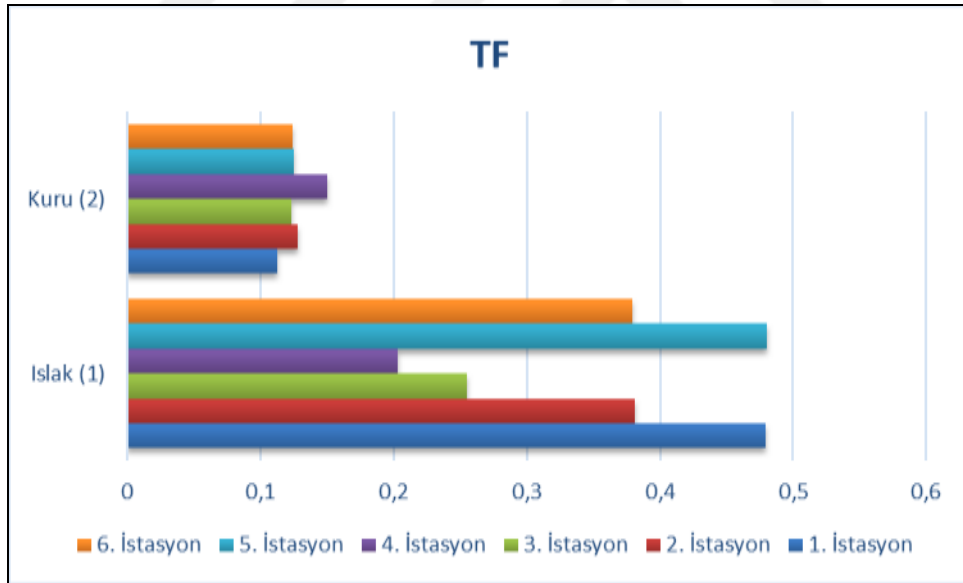
Parametre	Dönem	1. İstasyon	2. İstasyon	3. İstasyon	4. İstasyon	5. İstasyon	6. İstasyon
TO (mg/L)	Islak (1)	0,090±0,000 Db	0,097±0,001 Bb	0,285±0,001 Aa	0,090±0,001 Db	0,091±0,001 Db	0,095±0,001 Cb
	Kuru (2)	0,095±0,001 Ea	0,106±0,000 Da	0,092±0,001 Fb	0,284±0,000 Ca	0,362±0,002 Aa	0,360±0,000 Ba
TF (mg/L)	Islak (1)	0,479±0,000 Aa	0,381±0,001 Ba	0,255±0,001 Da	0,203±0,001 Ea	0,480±0,001 Aa	0,379±0,001 Ca
	Kuru (2)	0,113±0,000 Eb	0,128±0,000 Bb	0,123±0,001 Db	0,150±0,001 Ab	0,125±0,001 Cb	0,124±0,001 CDb
TFO (mg/L)	Islak (1)	0,011±0,000 Ba	0,011±0,000 Ba	0,010±0,000 Ca	0,011±0,000 Ba	0,012±0,000 Aa	0,010±0,000 Ca
	Kuru (2)	0,011±0,000 Ba	0,011±0,000 Ba	0,011±0,000 Ba	0,011±0,000 Ba	0,012±0,000 Aa	0,011±0,000 Ba
TFF (mg/L)	Islak (1)	0,087±0,000 Fb	0,110±0,000 Ca	0,108±0,000 Ea	0,119±0,000 Aa	0,114±0,001 Ba	0,109±0,001 Da
	Kuru (2)	0,095±0,000 Da	0,078±0,000 Bb	0,099±0,001 Eb	0,095±0,001 Db	0,102±0,002 Ab	0,097±0,001 Cb

* Aynı sütunda farklı küçük harfi olan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir ($p<0,5$).

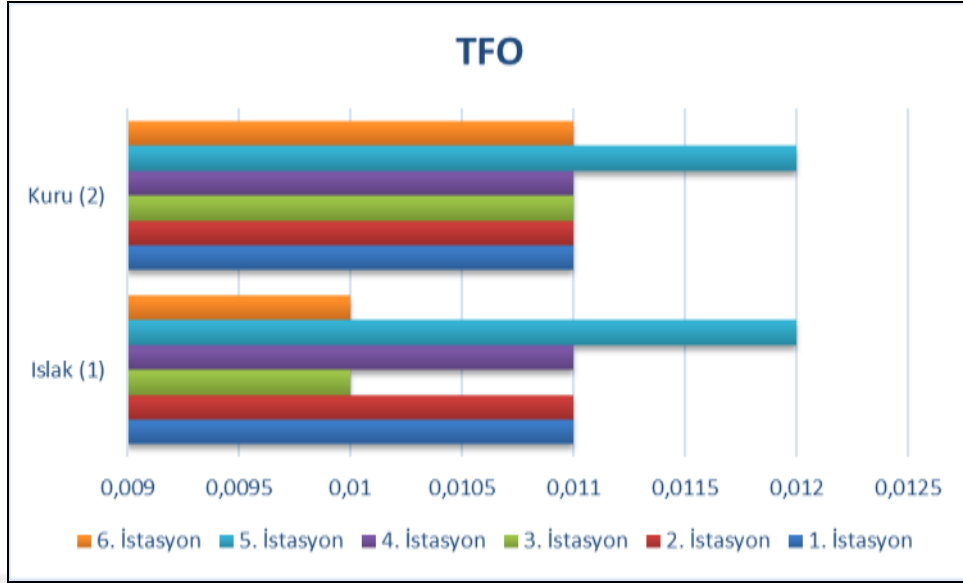
** Aynı satırda farklı büyük harfi olan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$).



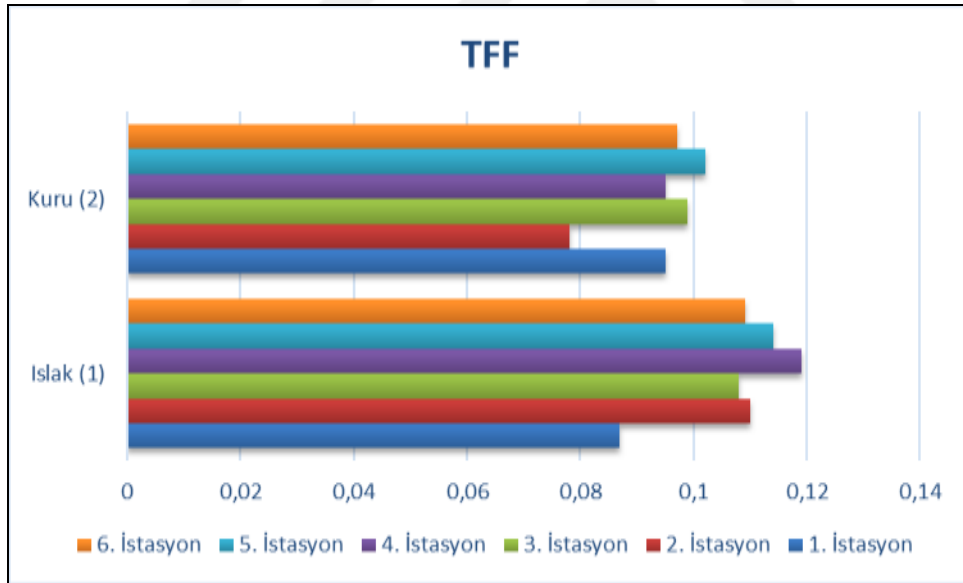
Şekil 4.11 Sediment üstü suya ait azot fraksiyonlarının toplam ortofosfat (TO) değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması



Şekil 4.12 Sediment üstü suya ait azot fraksiyonlarının toplam fosfor (TF) değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması



Şekil 4.13 Sediment üstü suya ait azot fraksiyonlarının toplam filtre edilebilir ortofosfat (TFO) değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması



Şekil 4.14 Sediment üstü suya ait azot fraksiyonlarının toplam filtre edilebilir fosfor (TFF) değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması

4.2 Mogan Gölü'nde Sediment Gözenek Suyu Analizlerine İlişkin Sonuçlar

Mogan Gölü'nde belirlenen 6 adet istasyondan alınan sediment gözenek suyu örneklerinde, azot fraksiyonları (NH_3 , filtrelenmiş sudaki NH_3 , NH_4 , filtrelenmiş sudaki NH_4 , NO_3 ve filtrelenmiş sudaki NO_3 konsantrasyonları ile fosfor fraksiyonları (TFO, TFF) konsantrasyonları ve pH belirlenmiştir. Sediment gözenek suyu örneklerinde saptanan söz konusu parametrelerin istasyonlar ve dönemler bazında ortalamalar arası farklılıkları ($p<0.05$)'e göre istatistik olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.4).

4.2.1 $\text{NH}_3\text{-N}$

Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası $\text{NH}_3\text{-N}$ değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.4). Islak dönemde en düşük $\text{NH}_3\text{-N}$ değeri dördüncü istasyonda $0,41\pm0,00$ mg/L, en yüksek değer ise ikinci istasyonda $0,89\pm0,00$ mg/L olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük $\text{NH}_3\text{-N}$ değeri üçüncü istasyonda $0,52\pm0,00$ mg/L, en yüksek değer ise dördüncü istasyonda $1,24\pm0,00$ mg/L olarak ölçülmüştür (Şekil 4.15).

4.2.2 $\text{NH}_4\text{-N}$

Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası $\text{NH}_4\text{-N}$ değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.4). Islak dönemde en düşük $\text{NH}_4\text{-N}$ değeri dördüncü istasyonda $0,41\pm0,00$ mg/L, en yüksek değer ise ikinci istasyonda $1,15\pm0,01$ mg/L olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük $\text{NH}_4\text{-N}$ değeri üçüncü istasyonda $0,68\pm0,00$ mg/L, en yüksek değer ise dördüncü istasyonda $1,60\pm0,00$ mg/L olarak ölçülmüştür (Şekil 4.16).

4.2.3 NO₃-N

Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası NO₃-N değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.4). Islak dönemde en düşük NO₃-N değeri birinci istasyonda $0,79\pm0,01$ mg/L, en yüksek değer ise üçüncü istasyonda $6,55\pm0,00$ mg/L olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük NO₃-N değeri birinci istasyonda $0,71\pm0,01$ mg/L, en yüksek değer ise ikinci istasyonda $0,81\pm0,01$ mg/L olarak ölçülmüştür (Şekil 4.17).

4.2.4 Toplam filtre edilebilir ortofosfat

Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası TFO değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.4). Islak dönemde en düşük toplam filtre edilebilir ortofosfat değeri ikinci, beşinci ve altıncı istasyonlarda $0,01\pm0,00$ mg/L, en yüksek değer ise üçüncü istasyonda $0,01\pm0,00$ mg/L olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük toplam filtre edilebilir ortofosfat değeri ikinci, üçüncü ve dördüncü istasyonlarda $0,01\pm0,00$ mg/L, en yüksek değer ise birinci istasyonda $0,02\pm0,00$ mg/L olarak ölçülmüştür (Şekil 4.18).

4.2.5 Toplam filtre edilebilir fosfor

Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası TFF değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.4). Islak dönemde en düşük toplam filtre edilebilir fosfor değeri dördüncü istasyonda $0,17\pm0,01$ mg/L, en yüksek değer ise birinci istasyonda $0,24\pm0,00$ mg/L olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük toplam filtre edilebilir fosfor değeri ikinci, istasyonda $0,85\pm0,00$ mg/L, en yüksek değer ise dördüncü istasyonda $0,99\pm0,00$ mg/L ölçülmüştür (Şekil 4.19).

4.2.6 pH

Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası pH değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.4). Islak dönemde en düşük pH değeri birinci istasyonda $8,85\pm0,06$ en yüksek değer ise beşinci istasyonda $9,50\pm0,02$ olarak ölçölmüştür. Kuru dönemde en düşük pH değeri dördüncü istasyonda $8,80\pm0,09$ en yüksek değer ise beşinci istasyonda $8,97\pm0,04$ olarak ölçölmüştür (şekil 4.20).

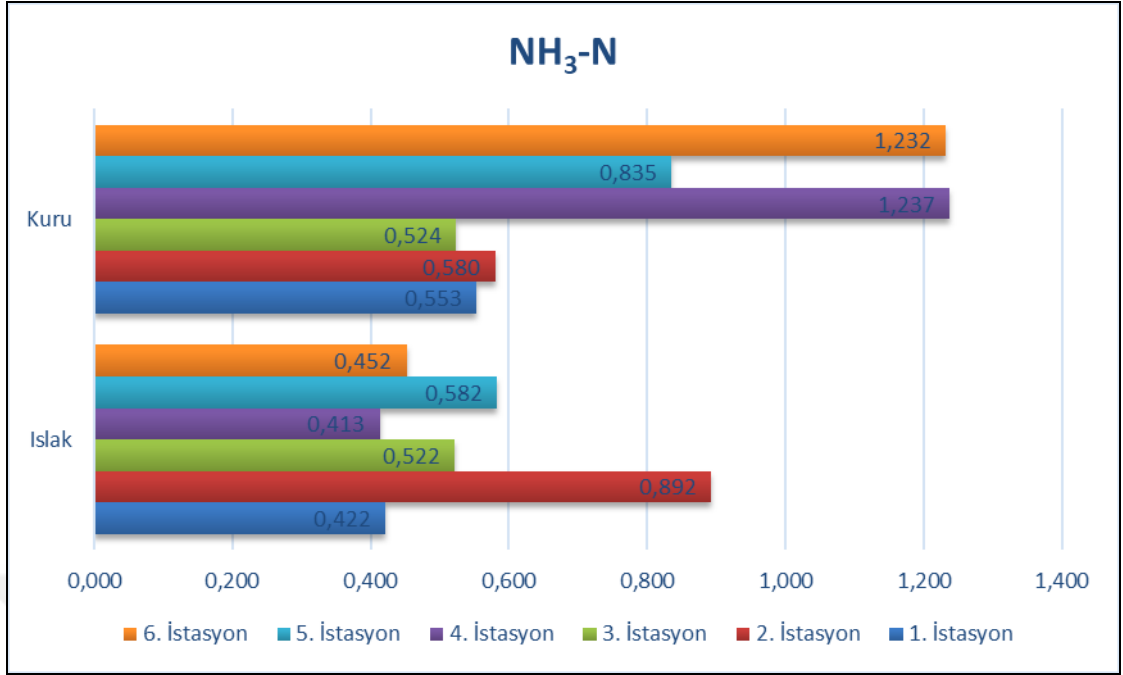


Çizelge 4.4 Sediment gözenek suyuna ilişkin veriler

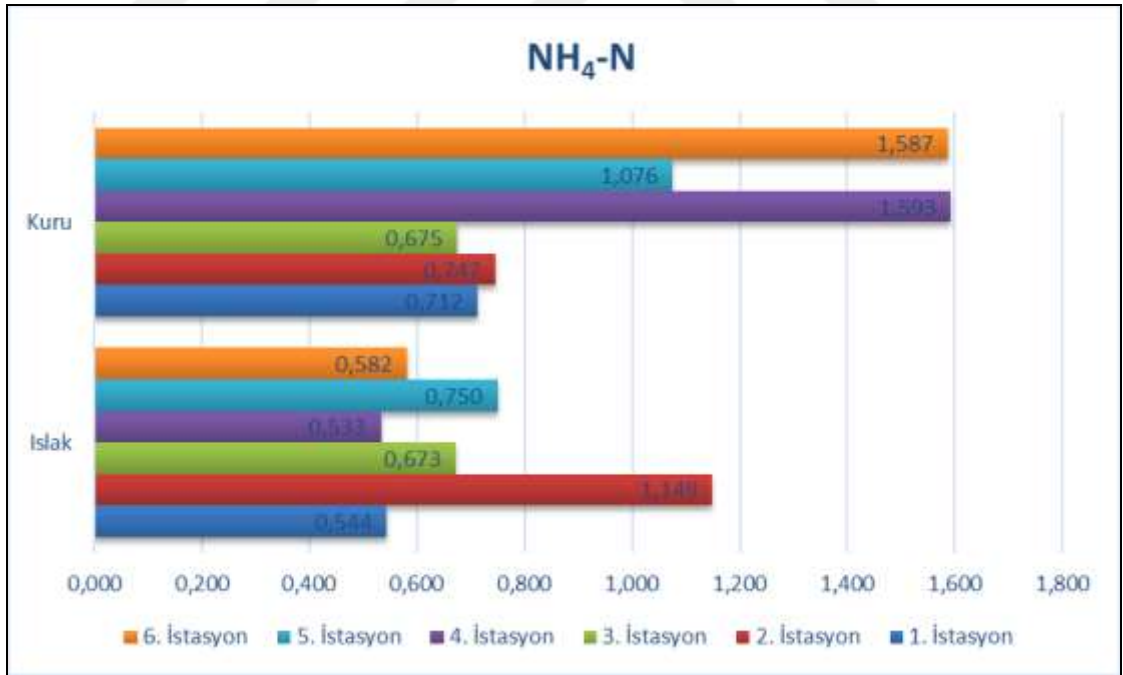
Parametre	Dönem	1. İstasyon	2. İstasyon	3. İstasyon	4. İstasyon	5. İstasyon	6. İstasyon
NH₃-N (mgL⁻¹)	Islak (1)	0,422±0,001 Eb	0,892±0,004 Aa	0,522±0,003 Ca	0,413±0,002 Fb	0,582±0,001 Bb	0,452±0,001 Db
	Kuru (2)	0,553±0,001 Ea	0,580±0,001 Db	0,524±0,002 Fa	1,237±0,002 Aa	0,835±0,004 Ca	1,232±0,005 Ba
NH₄-N (mgL⁻¹)	Islak (1)	0,544±0,001 Eb	1,149±0,005 Aa	0,673±0,003 Ca	0,533±0,002 Fb	0,750±0,002 Bb	0,582±0,001 Db
	Kuru (2)	0,712±0,001 Ea	0,747±0,002 Db	0,675±0,002 Fa	1,593±0,003 Aa	1,076±0,005 Ca	1,587±0,006 Ba
NO₃-N (mgL⁻¹)	Islak (1)	0,794±0,005 Fa	0,913±0,035 Ea	6,549±0,000 Aa	3,199±0,005 Ca	1,706±0,000 Da	6,267±0,008 Ba
	Kuru (2)	0,707±0,005 Fb	0,809±0,005 Ab	0,792±0,004 Bb	0,752±0,004 Db	0,733±0,005 Eb	0,768±0,005 Cb
TFO (mgL⁻¹)	Islak (1)	0,012±0,000 Bb	0,011±0,000 Ca	0,013±0,000 Aa	0,012±0,000 Ba	0,011±0,000 Ca	0,011±0,000 Ca
	Kuru (2)	0,021±0,000 Aa	0,010±0,000 Da	0,010±0,000 Db	0,010±0,000 Db	0,012±0,000 Ca	0,012±0,000 Ba
TFF (mgL⁻¹)	Islak (1)	0,241±0,000 Ab	0,202±0,000 Ab	0,233±0,002 Ab	0,166±0,096 Ab	0,195±0,000 Ab	0,200±0,002 Ab
	Kuru (2)	0,892±0,002 Ba	0,849±0,000 Ca	0,873±0,052 Ba	0,992±0,003 Aa	0,894±0,000 Ba	0,916±0,061 Aa
pH	Islak (1)	8,85±0,06 Da	9,40±0,02 Ba	9,39±0,02 Ba	9,22±0,02 Ca	9,50±0,02 Aa	9,40±0,02 Ba
	Kuru (2)	8,84±0,04 Da	8,86±0,04 Cb	8,97±0,04 Ab	8,80±0,09Eb	8,97±0,04 Ab	8,91±0,01 Bb

* Aynı sütunda farklı küçük harfi olan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir (p<0,5).

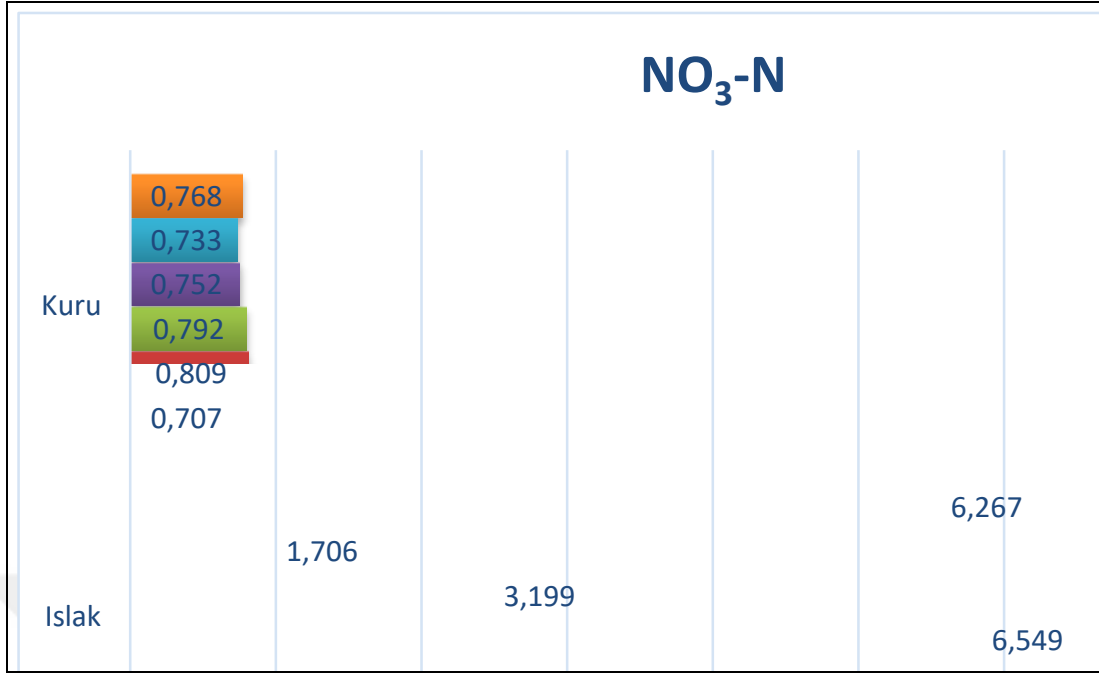
** Aynı satırda farklı büyük harfi olan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur (p<0,05).



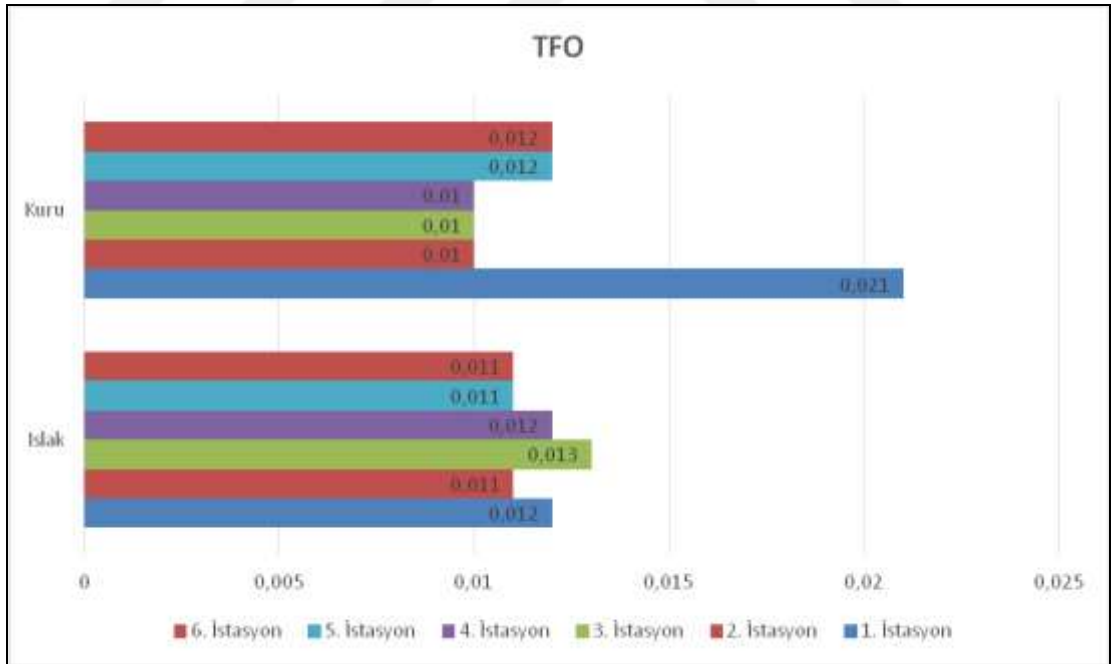
Şekil 4.15 Sediment gözenek suyunda istasyonlar arası NH₃-N değişiminin kuru ve ıslak dönemde karşılaştırılması



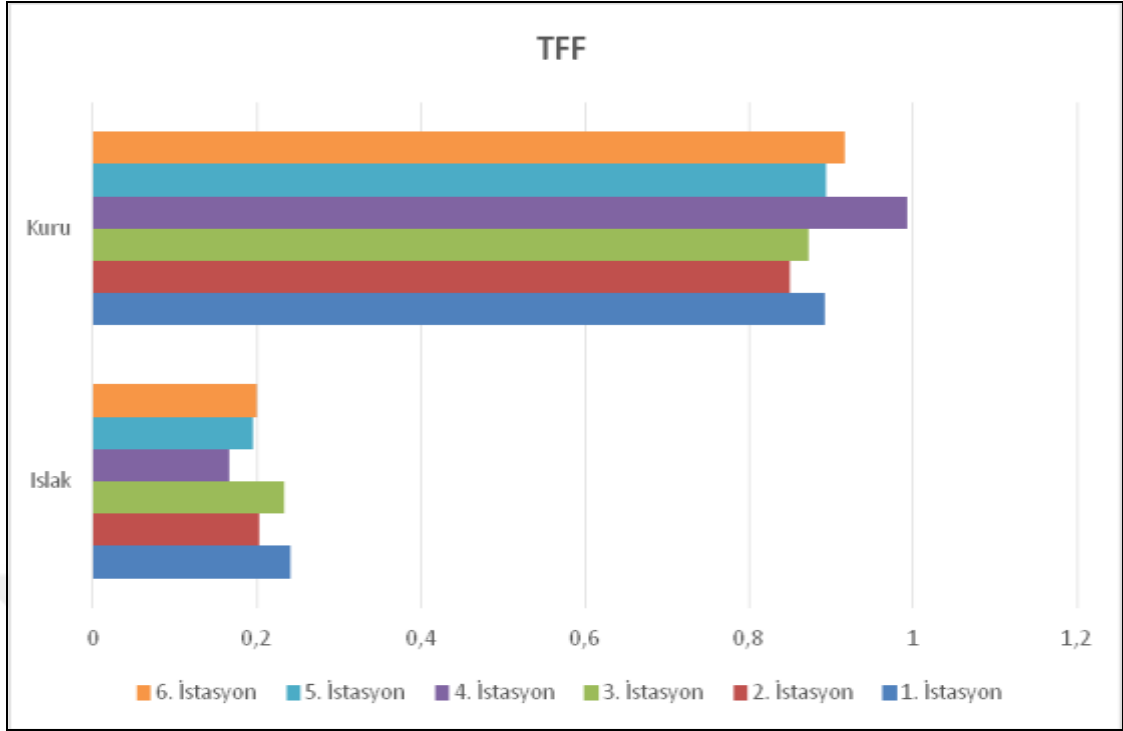
Şekil 4.16 Sediment gözenek suyunda NH₄-N değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması



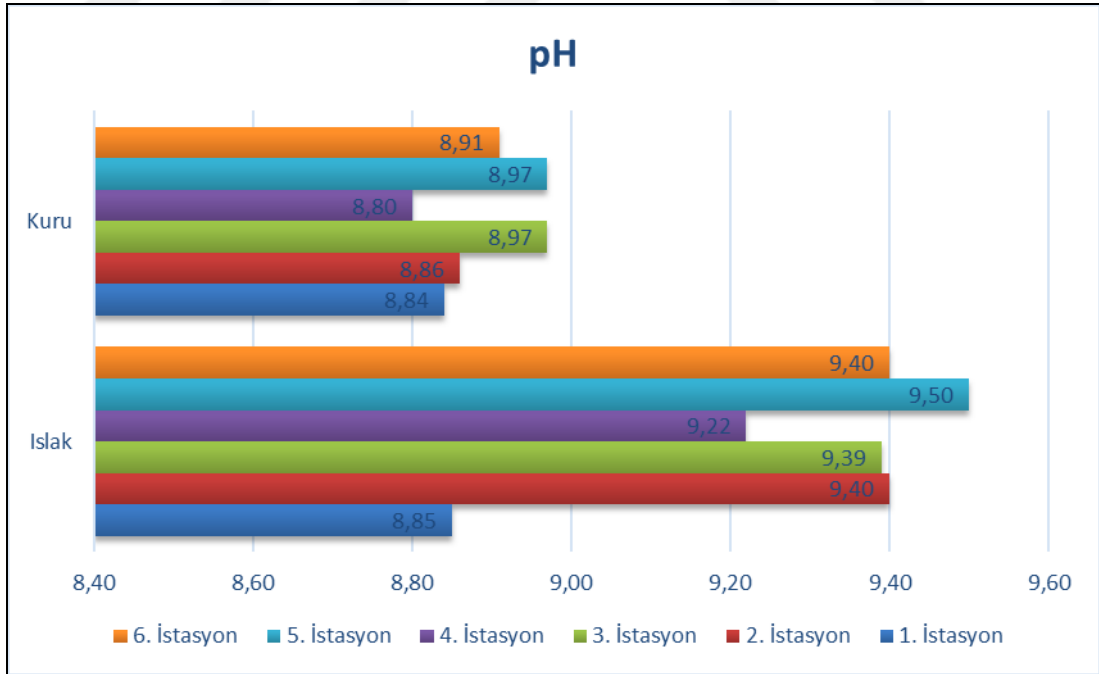
Şekil 4.17 Sediment gözenek suyunda NO₃-N değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması



Şekil 4.18 Sediment gözenek suyunda toplam filtre edilebilir ortofosfat (TFO) değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması



Şekil 4.19 Sediment gözenek suyunda toplam filtre edilebilir fosfor (TFF) değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması



Şekil 4.20 Sediment gözenek suyunda pH değişiminin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması

4.3 Mogan Gölü'nde Sediment Analizlerine İlişkin Sonuçlar:

Mogan Gölü'nde belirlenen 6 adet istasyondan alınan sediment örneklerinde, % su içeriği, redoks, OM, TOC ve TN değerleri belirlenmiştir. Sediment örneklerinde saptanan söz konusu parametrelerin istasyonlar ve dönemler bazında ortalamalar arası farklılıkları ($p<0.05$)'e göre istatistik olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.5).

4.3.1 % Su içeriği

Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası su içeriği değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.5). Islak dönemde en düşük su içeriği değeri üçüncü istasyonda $0,86\pm0,01$ en yüksek değer ise beşinci istasyonda $0,90\pm0,02$ olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük su içeriği değeri üçüncü istasyonda $0,71\pm0,00$ en yüksek değer ise beşinci istasyonda $0,81\pm0,01$ olarak ölçülmüştür (Şekil 4.21).

4.3.2 Redoks değeri

Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası redoks değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.5). Islak dönemde en düşük redoks değeri dördüncü istasyonda $-45,10\pm6,13$ en yüksek değer ise birinci istasyonda $-21,20\pm0,11$ olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük redoks değeri ikinci istasyonda $-27,75\pm0,01$ en yüksek değer ise dördüncü istasyonda $37,50\pm3,69$ olarak ölçülmüştür (Şekil 4.22).

4.3.3 Organik madde

Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası organik madde değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge

4.5). Islak dönemde en düşük organik madde değeri üçüncü istasyonda % $0,04 \pm 0,00$ en yüksek değer ise dördüncü ve beşinci istasyonlarda % $0,10 \pm 0,02$ olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük organik madde değeri birinci ve ikinci istasyonlarda % $0,04 \pm 0,02$ en yüksek değer ise üçüncü ve dördüncü istasyonlarda % $0,09 \pm 0,02$ olarak ölçülmüştür (Şekil 4.23).

4.3.4. Toplam organik karbon

Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası toplam organik karbon değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p < 0.05$) (Çizelge 4.5). Islak dönemde en düşük toplam organik karbon değeri birinci istasyonda % $2,42 \pm 0,03$ en yüksek değer ise altıncı istasyonda % $7,10 \pm 0,11$ olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük toplam organik karbon değeri birinci istasyonda % $2,04 \pm 0,15$ en yüksek değer ise ikinci istasyonda % $7,25 \pm 0,55$ olarak ölçülmüştür (Şekil 4.24).

4.3.5. Toplam azot

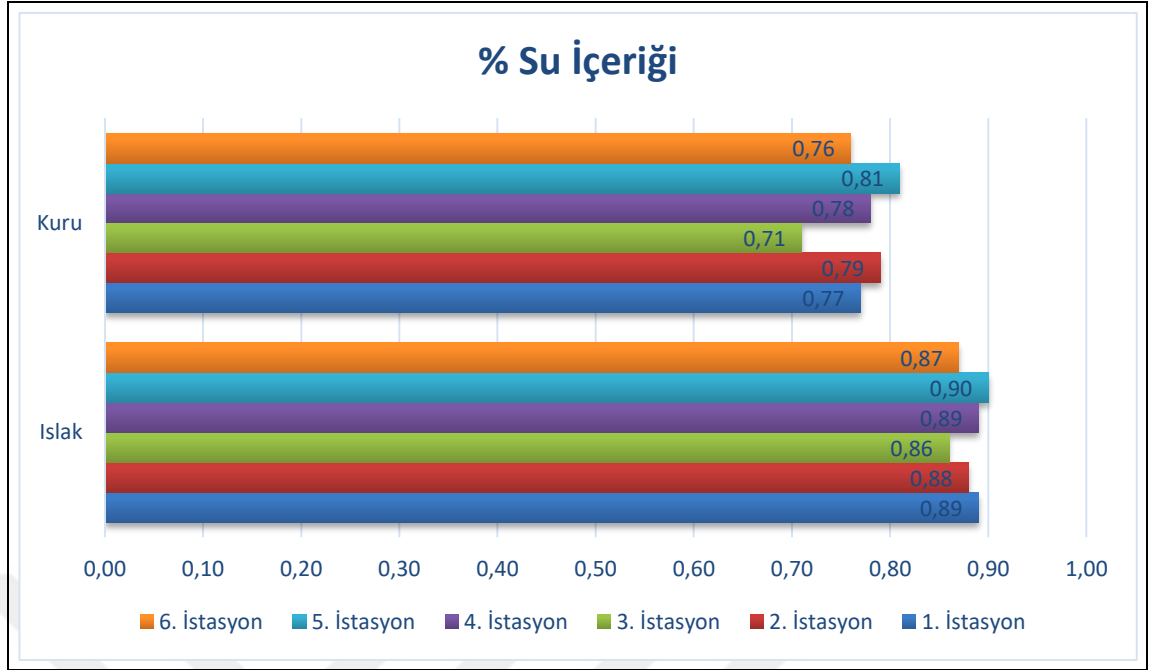
Araştırma periyodu boyunca ölçümler baz alınarak yapılan varyans analizi sonucunda, istasyonlar arası toplam azot değerleri arasındaki farklılık Duncan Testine göre, dönemler arası farklılık ise t-testi tekniğine göre önemli bulunmuştur ($p < 0.05$) (Çizelge 4.5). Islak dönemde en düşük toplam azot değeri birinci istasyonda % $0,25 \pm 0,02$ en yüksek değer ise altıncı istasyonda % $0,57 \pm 0,01$ olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük toplam azot değeri birinci istasyonda % $0,13 \pm 0,01$ en yüksek değer ise ikinci istasyonda % $0,59 \pm 0,11$ olarak ölçülmüştür (Şekil 4.25).

Çizelge 4.5 Mogan Gölü'nde belirlenen istasyonlarda sedimente ait parametrelerin ıslak ve kuru dönemlere göre değişimi

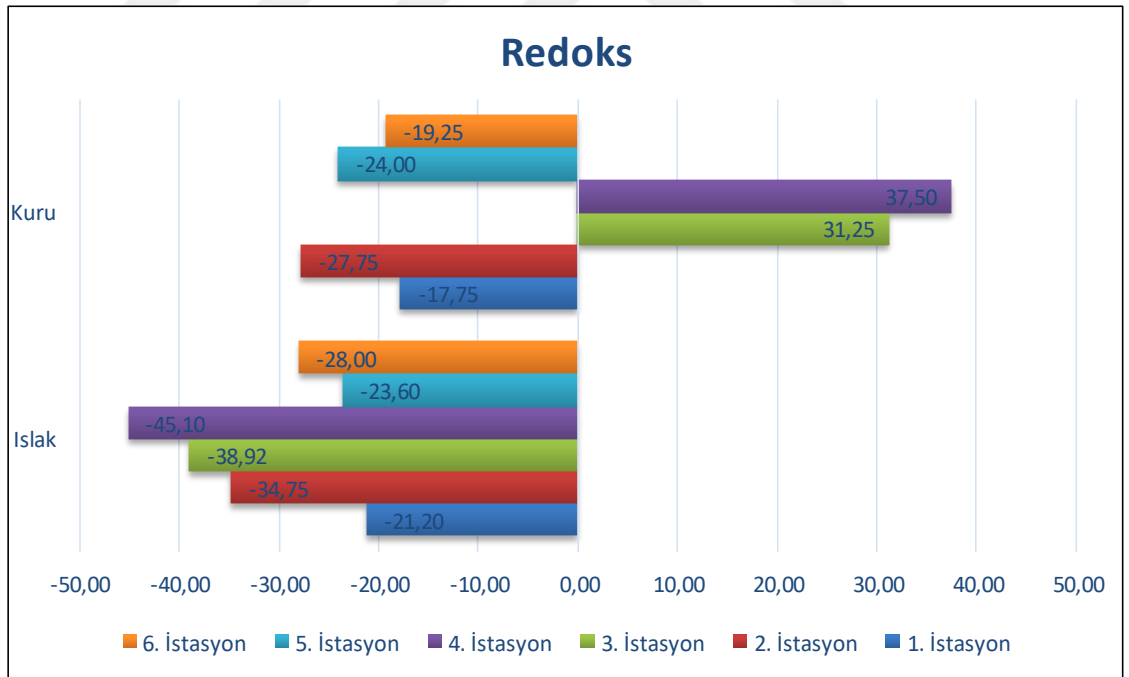
Parametre	Dönem	1. İstasyon	2. İstasyon	3. İstasyon	4. İstasyon	5. İstasyon	6. İstasyon
Su İçeriği (%)	Islak (1)	0,89±0,01 Aa	0,88±0,02 ABa	0,86±0,01 Ca	0,89±0,01 Aa	0,90±0,01 Aa	0,87±0,01 BCa
	Kuru (2)	0,77±0,01 BCb	0,79±0,01 Ab	0,71±0,00 Eb	0,78±0,01 Bb	0,81±0,01 Ab	0,76±0,01 CDb
Redoks (mV)	Islak (1)	-21,20±0,11 Da	-34,75±2,5 Ba	-38,92±0,22 Ba	-45,10±6,13 Aa	-23,60±2,02 Db	-28,00±1,15 Ca
	Kuru (2)	-17,75±0,50 Cb	-27,75±0,01 BCb	31,25±2,21 ABb	37,50±3,69 Ab	-24,00±10,03 BCa	-19,25±1,89 Cb
OM (%)	Islak (1)	0,05±0,01 Ba	0,09±0,00 Aa	0,04±0,00 Bb	0,10±0,02 Aa	0,10±0,01 Aa	0,09±0,02 Aa
	Kuru (2)	0,04±0,02 Ba	0,04±0,01 Bb	0,09±0,02 Aa	0,09±0,02 Aa	0,07±0,01 Ab	0,05±0,02 Bb
TOC (%)	Islak (1)	2,42±0,03 Fa	3,91±0,04 Eb	6,25±0,05 Bb	5,80±0,12 Ca	5,39±0,01 Da	7,10±0,11 Aa
	Kuru (2)	2,04±0,15 Ea	7,25±0,55 Aa	6,40±0,12 Ba	5,83±0,14 Ca	2,30±0,00 Db	5,68±0,27 Cb
TN (%)	Islak (1)	0,25±0,02 Fa	0,35±0,01 Eb	0,47±0,01 Db	0,50±0,03 Ca	0,53±0,01 Ba	0,57±0,01 Aa
	Kuru (2)	0,13±0,01 Fb	0,59±0,11 Aa	0,55±0,02 Ba	0,49±0,03 Ca	0,21±0,00 Eb	0,40±0,03 Db

* Aynı sütunda farklı küçük harfi olan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemlidir ($p<0,5$).

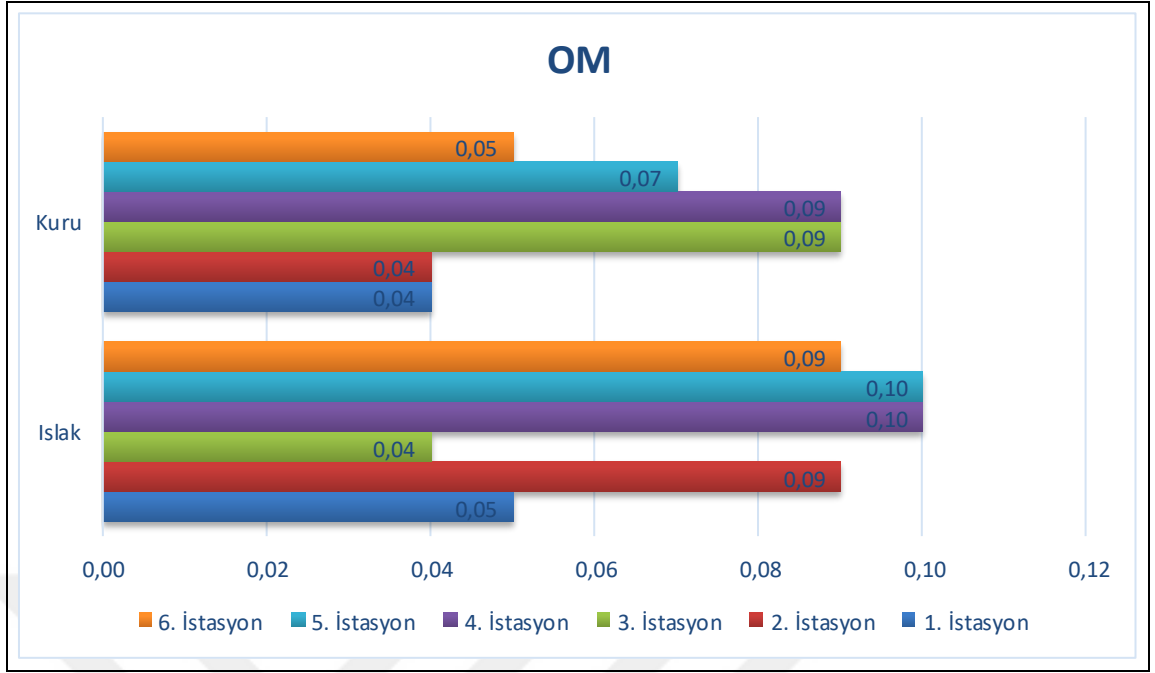
** Aynı satırda farklı büyük harfi olan ortalamalar arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$).



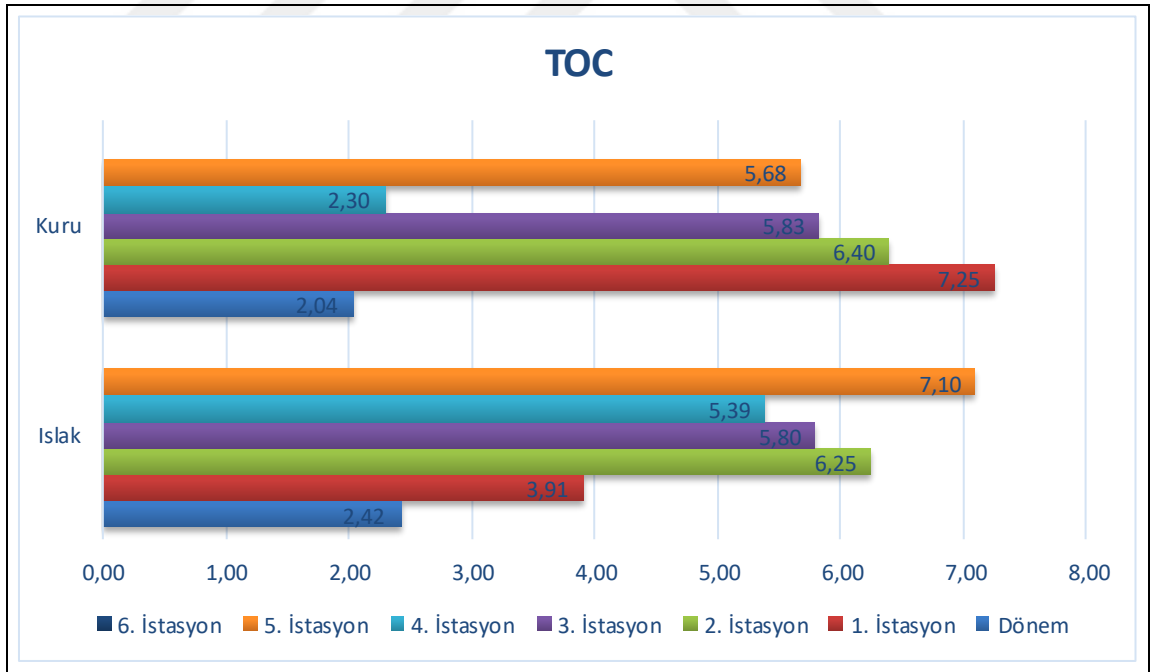
Şekil 4.21 Sedimentte % su içeriğinin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması



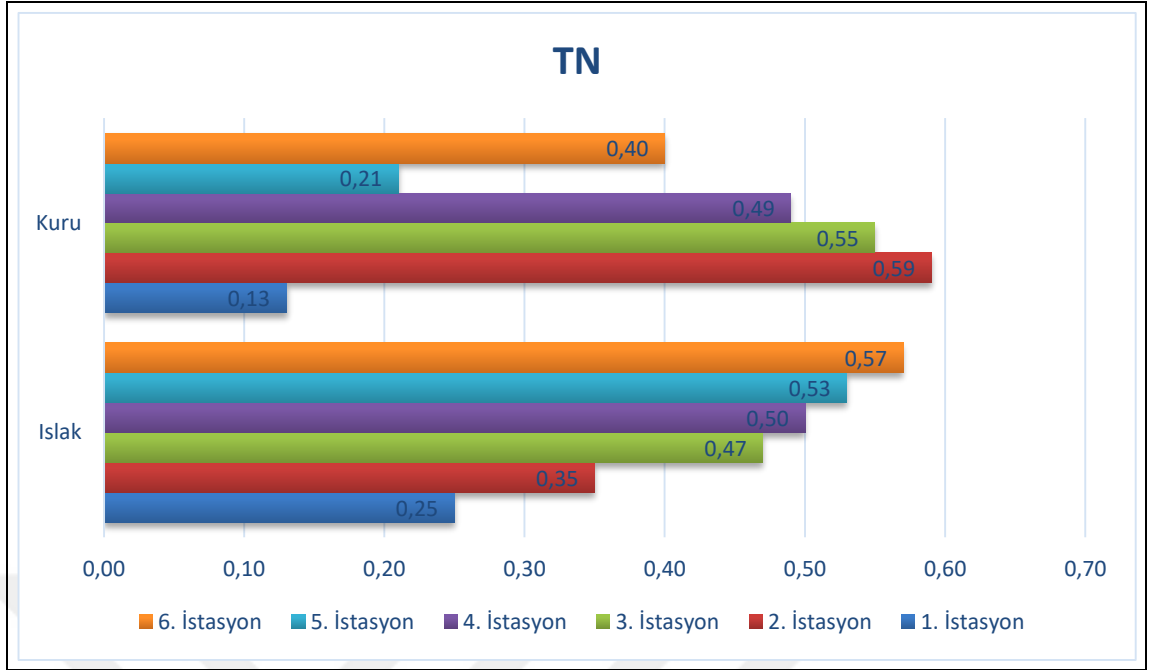
Şekil 4.22 Sedimentte redoks potansiyelinin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması



Şekil 4.23 Sedimentte organik madde içeriğinin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması



Şekil 4.24 Sedimentte toplam organik karbon (TOC) içeriğinin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması



Şekil 4.25 Sedimentte toplam azot içeriğinin istasyonlar arası kuru ve ıslak dönem karşılaştırılması

4.4 Mogan Gölü’nde Sedimentte Amonyum ve Nitrat Salınımına İlişkin Bulgular

Araştırma periyodu boyunca her bir dönemdeki her bir istasyona ilişkin ortalama amonyum ve nitrat salınım değerleri hesaplanmıştır. Bu bağlamda sedimentten amonyum ve nitrat salınım değerleri sırasıyla amonyum salınımı için $-9,16 - 0,36 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{gün}$ arasında değişerek en düşük değerini Temmuz 2019 ayında 6. İstasyonda; nitrat salınımı için $-67,2 - 35,16 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{gün}$ arasında değişerek en düşük değerini Ekim 2018 ayında 3. İstasyonda en yüksek değerini ise aynı ayda 5. İstasyonda almıştır (Çizelge 4.6).

4.4.1 Amonyum salınımı

Araştırma periyodu boyunca gölde ıslak dönemde en düşük amonyum salınım değeri ikinci istasyonda $-1,42 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{gün}$, en yüksek değer ise altıncı istasyonda $0,36 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{gün}$ olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük amonyum salınım değeri ikinci

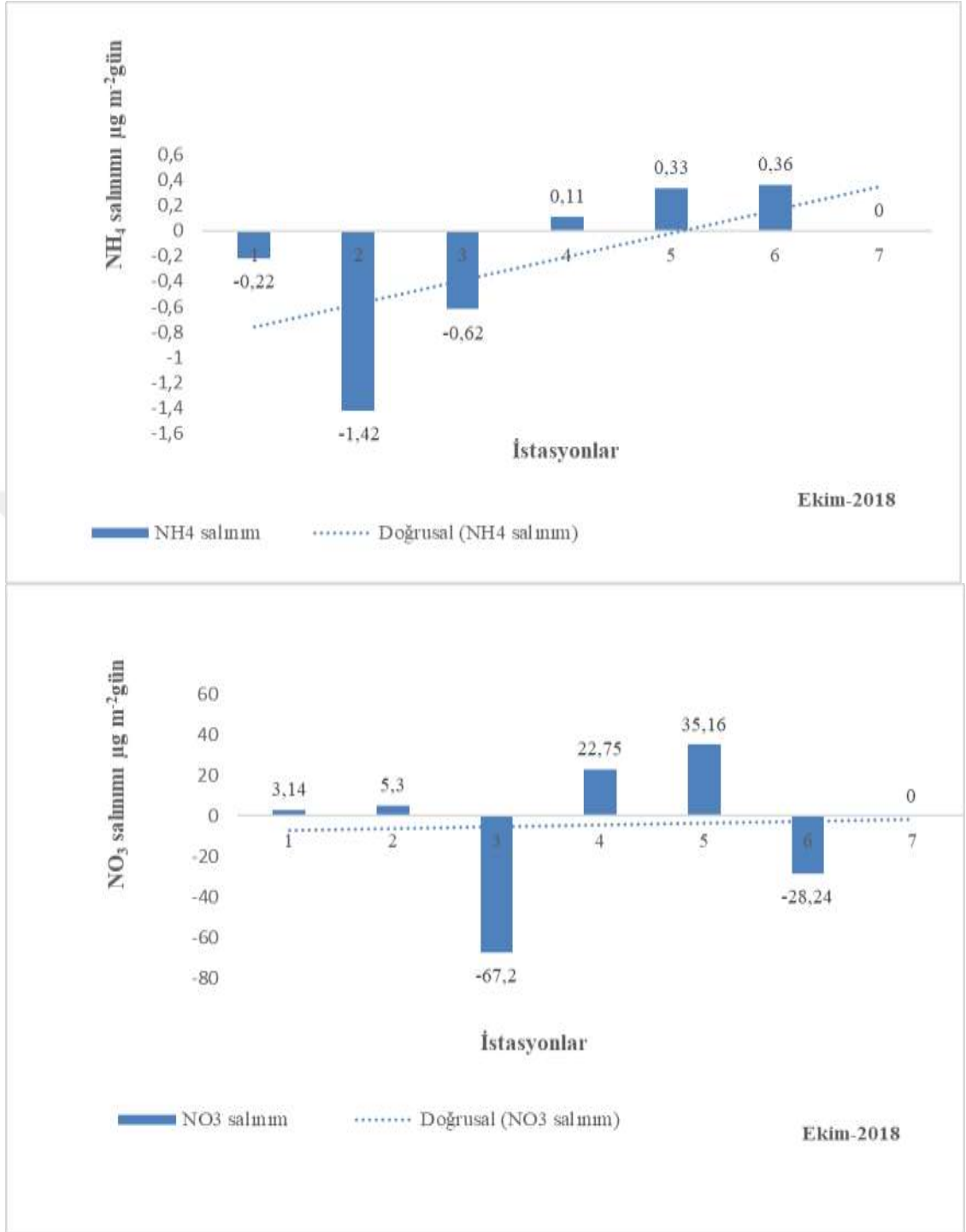
istasyonda $-9,16 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{gün}$, en yüksek değer ise birinci istasyonda $-0,04 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{gün}$ olarak ölçülmüştür (Şekil 4.26, Şekil 4.28).

4.4.2 Nitrat salınımı

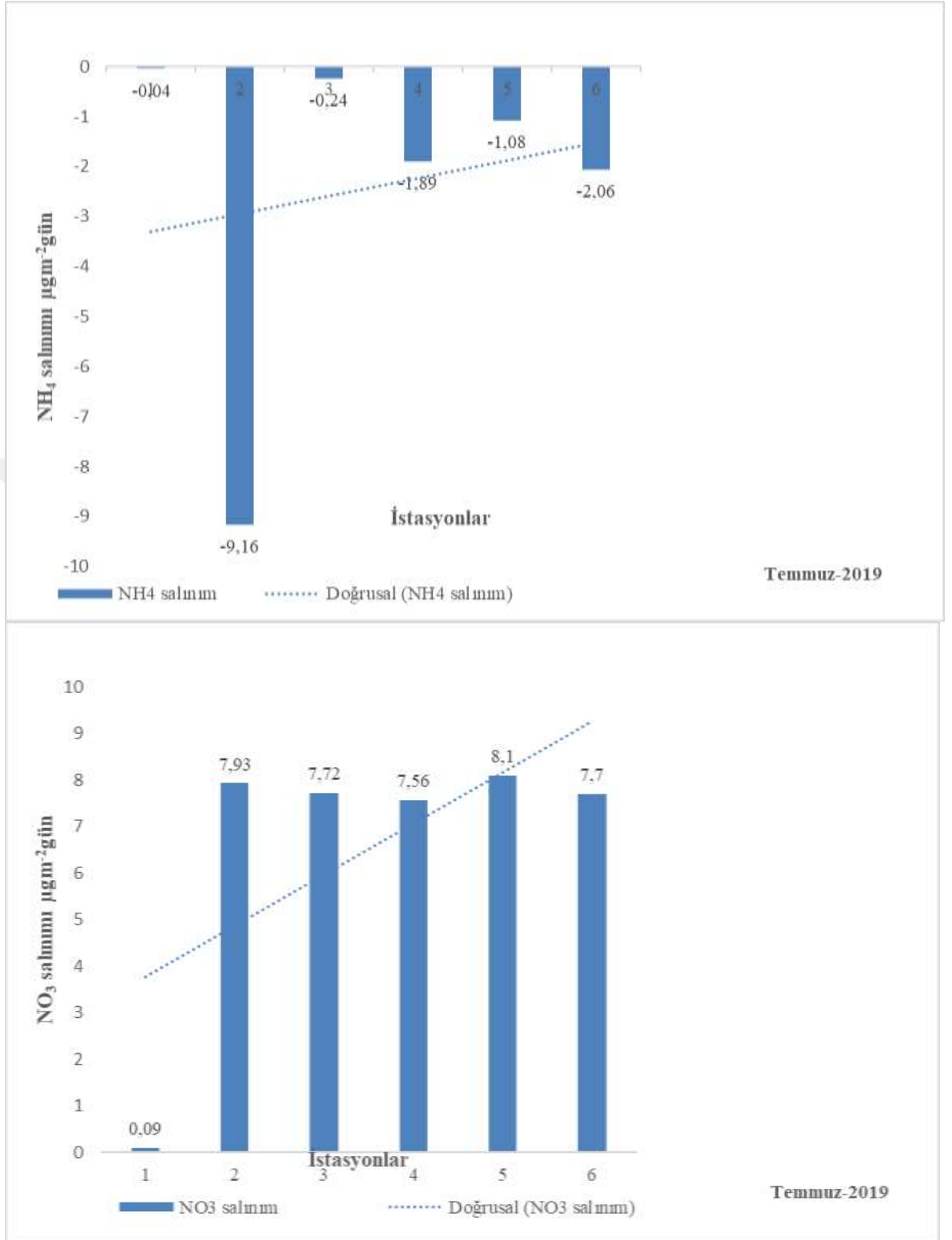
Araştırma periyodu boyunca gölde ıslak dönemde en düşük nitrat salınım değeri üçüncü istasyonda $-67,2 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{gün}$, en yüksek değer ise beşinci istasyonda $35,16 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{gün}$ olarak ölçülmüştür. Kuru dönemde en düşük nitrat salınım değeri birinci istasyonda $0,09 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{gün}$, en yüksek değer ise beşinci istasyonda $8,10 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{gün}$ olarak ölçülmüştür (Şekil 4.27, Şekil 4.29).

Çizelge 4.6 Mogan Gölü'nde amonyum ve nitrat salınım tahminlerinin Ekim 2018 ve Temmuz 2019 aylarında istasyonlara bağlı değişimi

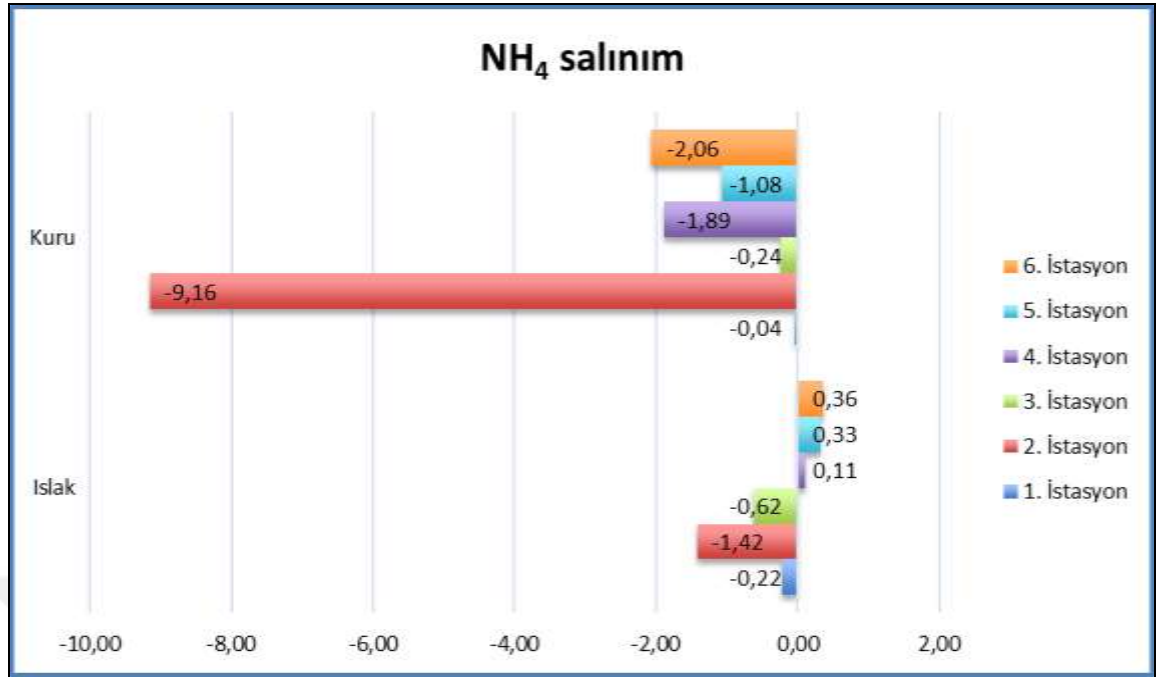
Azot salınımı	Dönem	1. İstasyon	2. İstasyon	3. İstasyon	4. İstasyon	5. İstasyon	6. İstasyon
NH₄ salınımı ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{gün}$)	Islak (1)	-0,22	-1,42	-0,62	0,11	0,33	0,36
	Kuru (2)	-0,04	-9,16	-0,24	-1,89	-1,08	-2,06
NO₃ salınımı ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{gün}$)	Islak (1)	3,14	5,30	-67,2	22,75	35,16	-28,24
	Kuru (2)	0,09	7,93	7,72	7,56	8,10	7,70



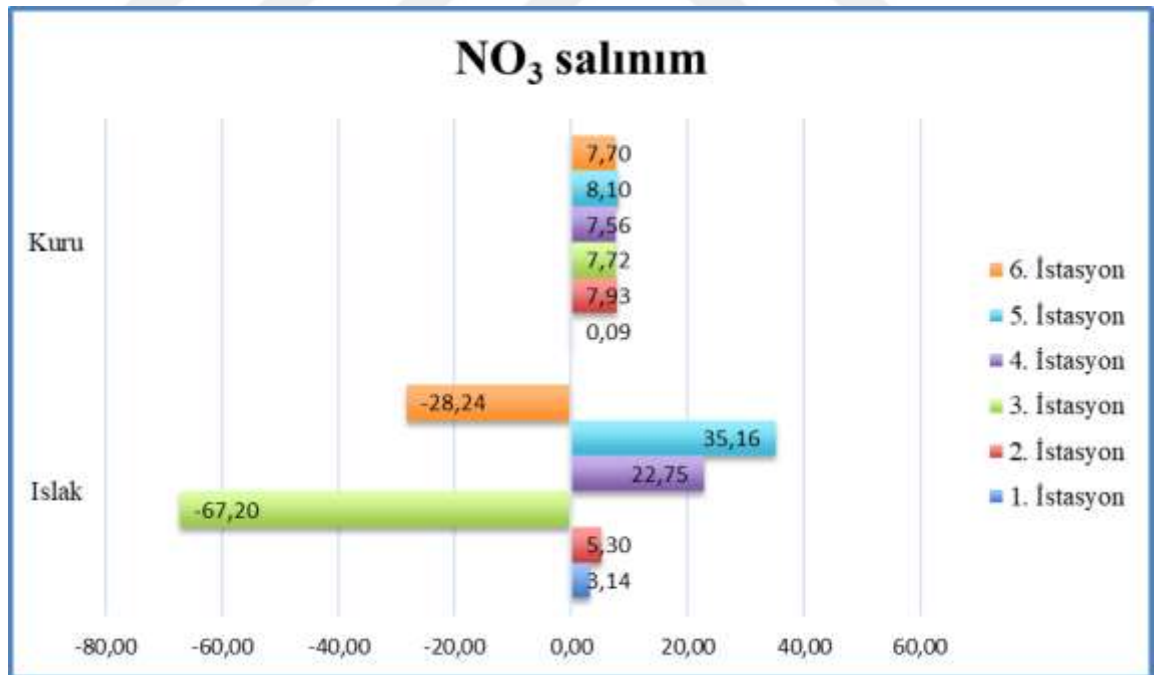
Şekil 4.26 Mogan Gölü'nde amonyum ve nitrat salınım tahminlerinin Ekim 2018 tarihinde istasyonlara bağlı değişimi



Şekil 4.27 Mogan Gölü'nde amonyum ve nitrat salınım tahminlerinin Temmuz 2019 tarihinde istasyonlara bağlı değişimi



Şekil 4.28 Sedimentte amonyum salınımının istasyonlar arası ıslak ve kuru dönem karşılaştırması



Şekil 4.29 Sedimentte nitrat salınımının istasyonlar arası ıslak ve kuru dönem karşılaştırması

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

5.1 Mogan Gölü'nde Sediment-Su Ara Yüzeyinde Azot Dinamiği ve Etkili Faktörlere İlişkin Değerlendirmeler

Mogan Gölü'nde yapılan doktora tez çalışması ile sedimentten göl suyuna salınan amonyum ve nitrat miktarı (pozitif ve/veya negatif yöndeki); sediment üstü su ve sediment gözenek sularına ilişkin amonyum ve nitrat konsantrasyonları ile sedimentin su içeriği ve sıcaklığa bağlı difüzyon katsayısı kullanılarak yağışlı ve kurak dönem olmak üzere iki farklı periyotta tahmin edilmiştir. Ayrıca sedimentten amonyum ve nitrat salınımını etkileyebilen faktörlerden su sıcaklığı, çözünmüş oksijen ve pH değerleri de belirlenmiş, söz konusu parametrelerin azot salınımı ile etkileşimi de ortaya konmuştur.

Araştırmamız süresince, sedimentten amonyum ve nitrat salınım değerleri; amonyum salınımı için $-9,16 - 0,36 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{gün}$ arasında değişerek en düşük değerini Temmuz 2019 ayında 2. istasyonda alırken en yüksek değerini Ekim 2018 ayında 6. istasyonda almıştır. Nitrat salınımı için tahmin edilen değerler; $-67,2 - 35,16 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{gün}$ arasında değişerek en düşük değerini Ekim 2018 ayında 3. istasyonda en yüksek değerini ise yine aynı ayda 5. istasyonda almıştır.

Sucul ekosistemlerde sedimentler, kimyasal ve biyolojik olaylarda kritik rol oynamakta, sedimentten suya olan azot salınımı sudaki azot konsantrasyonu üzerine etkili olup sisteme dış kaynaklı besin elementi girişinin kontrol edilmesi halinde göl yıl boyu ötrofik özellik gösterebilmektedir (Gardner ve McCarty 2009). Sediment gözenek suyundaki amonyumun sedimentteki partiküllere tutunumu sedimentin organik madde içeriği ile ilişkilidir (Delince 1992, Hakanson ve Jansson 2002). Organik maddece zengin sedimentler azotu bünyelerinde tutarak biriktirirken bu durum sedimentteki amonyum tutulumundan sorumlu olabilmektedir (Shayo and Limbu 2018). Organik madde düzeyi % 20'den düşük olan sucul sistemlerde organik madde yapısındaki hümkik

asit miktarının oransal olarak fazla olmasının, sedimentte besin elementi tutulumunda etkili olduğu bilinmektedir (Hakanson ve Jansson 2002). Mogan Gölü'nde araştırma süresince sedimentin organik madde düzeyinin düşük olduğu (OM: % 0,04-0,10) belirlenmiş olup bulgular Hakanson ve Jansson (2002)'ın organik madde yapısındaki hümik asit miktarının oransal olarak fazla olması halinde tutulumun gerçekleşeceği görüşünü gölde dönem dönem azot tutulumunun saptanması yönünde desteklemektedir. Zhang vd. (2008) tarafından azot ile alg biyokütlesi ve klorofil-a konsantrasyonları arasında pozitif korelasyon belirlenmiş, çalışma alanında yüksek azot salınımlarının fitoplanktonun biyokütle artışı desteklediği ortaya konmuştur. Bu çalışma ile sedimentin amonyum konsantrasyonu ve çözünmüş oksijen derişimi arasında negatif korelasyon olduğu; sedimentteki organik maddenin artan amonifikasyon seviyesi ile düşük çözünmüş oksijen seviyesine bağlı düşük nitrifikasyon oranının artan amonyum salınımını tetiklediği bildirilmiştir. Mogan Gölü'nde araştırma periyodunca belirlenen düşük düzeydeki organik madde miktarının, düşük amonyum salınımından sorumlu olduğu bulgusu Zhang vd. (2008)'nin sedimentteki OM ile amonyum salınımı arasındaki etkileşime ilişkin argümanını doğrulamaktadır.

Sucul ortamda dış kaynaklı azot yükünün sedimentten salınan azot biyoakümülyasyon yoluyla hidrodinamik düzeninde değişime sebep olduğu bildirilmiştir (Wu vd 2019). Çalışma kapsamında sediment örneklerinde TOC, NH₃, NO₂, % su içeriği ve kuru ağırlık miktarları hesaplanmıştır. TOC içeriğinin % 1,28-3,52 arasında değiştiği, N:P oranının ise 0,7-6,7 arasında olduğu saptanmıştır. Mogan Gölü'nde % 2,04-7,25 arasında değişen sedimente ait TOC içeriği Taihu Gölü'nden yüksek bulunurken, değişim aralığı % 0,13-0,59 olan sediment TN içeriği Taihu Gölü'nden oldukça düşük bulunmuştur. Bu gibi ötrofik sucul sistemlerde sediment-su arası azot dinamiğine ilişkin kontrol faktörleri tamamıyla açık bulunmamakla birlikte bazı biyokimyasal işlemler, taşınım oranları ve azot uzaklaştırma yönetim uygulamaları sedimentten besin elementi salınımı/tutulumu açısından her bir gölün iç ve dış dinamikleri çerçevesinde farklılık sergilemektedir.

Göllerde suyun azot ve fosfor konsantrasyonu sedimentten olan iç kaynaklı besin elementi yüklemesinden de etkilenebilmektedir. Antropojenik faaliyetlerin sedimentte ve yüzey sularındaki besin elementi zenginleşmesinin önemli bir kaynağı olabileceğini ortaya koyan bir çalışmada (Shayo and Limbu 2018); yüksek miktardaki dış kaynaklı besin yüküne sahip gölde, iç kaynaklı besin yükünün gölün besin seviyesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceği bildirilmiştir. İç kaynaklı besin yükü kapsamında azot mineralizasyonu, azot fiksasyonu, denitrifikasyon ve anaerobik amonyak oksidasyonu önemli süreçlerdir. Sedimentte mikrobiyal aktivitenin varlığı, oksijen tüketiminin ve azot konsantrasyonunun ayarlanmasına katkıda bulunurken azot dönüşüm oranları da etkilenebilmektedir. Enrich vd. (2016) yürüttükleri çalışmada, incelenen saha örneklerinde azotun indirgeyici faktör olduğu, NO_3 konsantrasyonunun ise düzenleyici ana faktör olduğunu ifade etmişlerdir. Denitrifikasyon oranının düşük olması anaerobik nitratı indirgeyen organizmaların aktivitesine bağlı bulunmuştur. Sediment tarama uygulamaları söz konusu iç yüklemenin yönetimi açısından önem taşımaktadır. Sediment tarama çalışmaları, yüzey sedimentte organik madde ve toplam azot içeriğinin azaltılması ve sediment-su ara yüzeyindeki redoks potansiyelinin yükselmesi şeklinde yarar sağlayabilmektedir. Sığ göllerde iç kaynaklı azot yüklemesinin kontrolünde, bu çalışmaların avantajın yanı sıra dezavantajlı olabildiği de ortaya konmuştur. İç kaynaklı azot yüklemesinin kontrolünün sağlanabilmesi amaçlı uygulanan sediment tarama yöntemi, partiküler madde girişi ve tutulumunu engellemeye yönelik önlemler alınması gerekliliğini öne çıkarmıştır (Zhong vd 2021). Lee vd. (2019) Güney Kore’de Euiam Gölü’nde sedimentten olan iç besin elementi yüklemesinin su kalitesi üzerine etkisini belirlemek amacıyla deneysel bentik çemberlerde üç yönlü hidrodinamik ve taşınım modeline dayalı bir modelleme uygulamışlardır. Söz konusu araştırmada $\text{NH}_4\text{-N}$ salınımı $-7,915\text{-}0,074 \text{ mg N m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ salınımı ise $-17,940\text{-}1,209 \text{ mg N m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ olarak tahmin edilmiştir. Çevresel kirlilik yükünün fazla olduğu Mogan Gölü’nde, Haziran 2017- Kasım 2018 tarihleri arasında Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı dip sedimenti tarama uygulamaları gerçekleştirmiştir. Araştırmamızdaki azot salınım düzeyleri Lee vd. (2019)’un verilerinden düşük olup bu durumun gölde uygulanan dip tarama çalışmalarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Sucul ekosistemlerde sediment-su ara yüzeyindeki etkileşimler; amonifikasyon, nitrifikasyon ve denitrifikasyon sürecindeki çözülmüş ve partiküler organik azot mineralizasyonu boyunca kritik rol oynamaktadır. Söz konusu etkileşimler, bazı fiziko-kimyasal parametreler, sedimentte besin elementi immobilizasyonu, rejenerasyon oranı ve bir takım metabolik işlemlerle ilişkilidir. Sucul ortamlarda amonyum salınımı; sedimentin tipi, organik madde oksidasyonu, sıcaklık ve çözülmüş oksijen konsantrasyonu gibi çeşitli faktörler tarafından yönetilmekte olup süreçte sediment üstü suyun çözülmüş oksijen konsantrasyonu, redoks potansiyeli ve pH seviyelerinin önemli rol oynadığı da bilinmektedir (Zhang vd. 2008). Araştırmacılar, Çin’de sığ ötrofik Chaohu Gölü’nde göl suyu ve sediment gözenek suyundaki azotun yersel ve mevsimsel değişimini izlemiştir. Sediment üstü sudaki dominant azot formu Mogan Gölü’nde olduğu gibi nitrat azotu olarak belirlenmiştir. Sediment gözenek suyunda dominant azot formu, Mogan Gölü’nün aksine amonyum olarak saptanmışken genel olarak sedimentte düşük düzeyde amonyum tutulumu ve düşük düzeyde nitrat salınımı tahmin edilmiştir. Bu durum sediment-su ara yüzeyinde kuvvetli oksidatif besin elementi dejenerasyonunun oluştuğuna işaret etmektedir. Mogan Gölü’nde yukarıdaki araştırmacıların bulgularına paralel olarak sedimentin amonyum konsantrasyonu ve çözülmüş oksijen derişimi arasında negatif ilişki saptanmıştır. Ancak gölde sedimentten suya olan azot salınımının fraksiyonel değişiminde; amonyumun kaynak, nitratin bir tuzak görevi üstlenmesi genellemesine aykırı bir sonuç elde edilmiştir.

Ram ve Zingde (2000)’in oksijenli koşullarda inorganik besin elementlerinin ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$), sedimentin 0-4 cm’lik bölümünde akümüle olduğuna ilişkin çalışmasına benzer olarak, Mogan Gölü’nde araştırma süresince sediment üstü suyun oksijensiz olmayışı azotun yüzey sedimentte düşük düzeydeki salınımı bir başka ifadeyle tutulumu ile sonuçlanmıştır.

Akvatik ortamlarda, azot döngüsünün bileşenleri olan nitrifikasyon ve denitrifikasyon olayları sıcaklığa bağlı olup sıcaklığın yüksek olduğu dönemlerde nitratin, azotun gaz formlarına (N_2 ve N_2O) ve amonyuma denitrifikasyonu Serpa vd. (2007)’nin bildirdiği

gibi sediment gözenek suyundaki nitrat düzeyinin de düşmesine yol açmaktadır. Mogan Gölü sediment gözenek suyundaki en düşük $\text{NO}_3\text{-N}$ olan 0,71 mg/L, yukarıdaki araştırmacıların bildirişleriyle uyumlu olarak sıcaklığın en yüksek olduğu temmuz ayında saptanmıştır.

Klapwijk ve Snodgrass (1982) adlı araştırmacılar, Kanada'daki Ontario Gölü'nde, sediment gözenek suyundaki amonyum konsantrasyonunu, sediment üstü sudaki amonyum düzeyine göre 2-100 kat daha yüksek tespit etmişlerdir (Delince 1992). Mogan Gölü sediment gözenek suyu amonyum konsantrasyonu, sediment üstü su değerinden ortalama 2 kat daha fazla belirlenmiş olup bu oran sedimentten suya olan amonyum salınımının düşük kalmasında etkili gözükmektedir.

Sucul sistemde çözünmüş inorganik azotun mevsimsel değişim açısından bahar periyodunda yüzey su ve dip suda birikime uğradığı Liu vd. (2019) tarafından bildirilmiştir. Bohai Denizi'nde çözünmüş inorganik azotun bentik salınımının % 88'ini amonyum oluşturmakta olup sedimentin amonyum açısından bir kaynak, nitrat ve nitrit açısından bir tuzak olduğu ortaya konmuştur. Kış periyodundaki çözünmüş inorganik azot akümülayonu baharda fitoplankton büyümesini destekleyen artan sıcaklığa paralel olarak azalmıştır. En düşük çözünmüş inorganik azot yaz aylarında gözlenirken, sonbaharda ölü fitoplankton ve karasal yük girdisi ile azot salınımında bir artış belirlenmiştir. Illawarra Gölü'nde yaz periyodundan erken sonbahara kadar geçen süreçte, inorganik azot fraksiyonlarının ($\text{NO}_2^+\text{NO}_3^+\text{NH}_4$) salınım düzeyleri araştırılmış ve salınımında amonyumun payının maksimum olduğu (> % 80) belirtilmiştir (Qu vd. 2003). Mogan Gölü'nde yukarıdaki araştırmacıların bildirişlerinin aksine sedimentten olan azot salınımında $\text{NO}_3\text{-N}$ salınımı amonyum salınımına göre yaklaşık 100 kat daha fazla tespit edilmiştir. Mogan Gölü'nde Liu vd. (2019)'un en yüksek azot salınımını sonbahar mevsiminde saptamalarına benzer şekilde nitrat salınımının en yüksek yağışlı dönemde tahmin edilmesi ile litoral bölgedeki makrofit gelişimi ve yoğunluğunun azalması arasında negatif bir korelasyon olduğu söylenebilir.

Besin elementleri ile ilişkili su kalitesi sorunlarına maruz kalan ve Los Angeles Şehir Parkı'nda bulunan Machado Gölü'nde sedimentten amonyum, nitrat ve fosfatın salınım düzeyleri araştırılmıştır; kuru dönem olan yaz periyodunda sedimentten yüzey suyuna azot ve fosfatın remobilizasyonunun, bu besin elementlerinin en önemli kaynağı olduğu belirtilmiştir (Anonymous 2007). Doğu Afrika'daki Mapopme Deresi'nde yürütülen bir başka araştırmada sediment-su ara yüzeyinde amonyum ve filtre edilebilir ortofosfat derişimleri çalışılmış; yaz dönemindeki konsantrasyon değerlerinin yağışlı periyoda göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Mohammed ve Johnstone 2002). Mogan Gölü'nde tahmin edilen düşük düzeydeki azot salınım değerleri yukarıdaki araştırmacıların bildirişlerinin aksine en yüksek değerlerini yağışlı dönemde almıştır.

Mogan Gölü sediment gözenek suyunda $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonu, Portekiz'de sığ bir lagünde sediment gözenek suyundaki çözünmüş amonyum ve fosfat derişiminin sıcaklıkla doğru orantılı bulunduğu (Serpa vd. 2007) şekilde en yüksek değerini temmuz ayında 4. istasyonda 1,593 mg/L olarak almıştır.

Tatlı su gölleri karasal alandan okyanusların kıyısına doğru taşınan antropojenik kaynaklı azot yükünün uzaklaştırılması adına rol alan hassas sıcak noktalardır. Bu bağlamda Müller vd. (2021) İsviçre'de bulunan ötrofik Baldegg Gölü ile oligotrofik Sarnen Gölü'nde azot uzaklaştırma etkinliğinin farklılıklarını ortaya koymak amacıyla yürüttükleri araştırmada ötrofik gölde yıllık azot yüklemesi ve uzaklaştırılma oranı arasında önemli bir bağlantı olduğu ve sediment üstü suyun nitrat konsantrasyonu ile istatistiki olarak önemli bir korelasyon oluşturduğunu ortaya koymuştur. Ötrofik Baldegg Gölü'nde $\text{NO}_3\text{-N}$ salınımı 15–55 mg N m⁻²gün iken sediment üstü suda NO_3 konsantrasyonları 1.2–1.4 mg N/ L arasında mevsimsel önemli değişiklikler oluşturmada değişmiştir. Mogan Gölü'nde sediment üstü suda NO_3 konsantrasyonları 1.04–4.94 mg N/ L aralığında değişerek Baldegg Gölü değerlerine yakın bulunmuş ancak $\text{NO}_3\text{-N}$ salınımı (-67,2 – -35,16 µg N m⁻²gün) Baldegg Gölü'nde tahmin edilen değerlerden oldukça düşük saptanmıştır. Mogan Gölü'nde düşük düzeydeki NH_4 salınımı tabakalaşma periyodunun sonuna doğru Ekim ayında 0,36 µg N m⁻²gün

değerine doğru artış göstermiştir bu durumun üretimin yüksek olduğu mevsim boyunca gerçekleşen sedimentte birikmiş organik maddenin mineralizasyonunun bir sonucu olarak gerçekleştiği düşünülmektedir. Mevsimsel azot uzaklaştırılma oranındaki artış ötrofik göllerde sediment su ara yüzeyindeki mevsimsel oksijen salınım değeri ile ilişkili olabilmekte; dolayısıyla su sıcaklığı ve çözünmüş oksijen konsantrasyonu, besin elementlerinin salınımını ve iç kaynaklı besin elementi yüklemesini etkileyen en önemli faktörler olarak dikkate alınmaktadır. Azalan oksijen seviyesi, sediment mineralizasyonunu artırarak denitrifikasyon aktivitesini de teşvik etmektedir. Mogan Gölü'nde araştırma periyodunca en yüksek salınım değerlerinin yüksek pH seviyeleri ile ilişkili olarak ekim ayında saptanması, sediment gözenek suyu pH seviyesinin sedimentten azot salınımı üzerine doğrusal etkisini göstermektedir. Bu durum üzerinde göl yönetim uygulamalarından biri olan sediment tarama tekniğinin etkili olabileceği düşünülse de tarama öncesi sedimentten azot salınımına dönük bir çalışmanın yapılmamış olması bu etki düzeyinin tahminini sınırlamaktadır.

Weston vd. (2005) tarafından küçük, sert sulu ve sığ ötrofik karakterdeki bir rezervuarda sedimentten amonyum salınımı tahmin edilmiş; amonyum salınım oranları Mogan Gölü'nde de olduğu gibi istasyonlar arasında farklılık göstermezken, sonbahar sirkülasyonu bizim araştırma bulgularımıza göre yukarıdaki araştırmacıların bildirişinin aksine amonyum salınımını belirgin ölçüde etkilememiştir.

Özkundakçı vd. (2011) Yeni Zelanda'daki küçük sığ ve ötrofik bir göl olan Okano Gölü'nde modifiye zeolit kullanımının sedimentten olan besin elementi salınımına etkisini araştırmışlardır. Amonyum azotunun sedimentten sediment üstü suyu salınımı kasım ayında 440 mg N/m^2 gün ile maksimum seviyeye ulaşırken ekim ayında -251 mg N/m^2 gün ile minimum seviyede tahmin edilmiştir. Hipolimnetik sedimentler, yaz tabakalaşması boyunca amonyum salınımı açısından kaynak veya tuzak görevi üstlenmektedir. Mogan Gölü sedimentinden olan azot salınımında yaz tabakalaşma periyodunda oksijensiz bir ortam oluşmamasından dolayı tahmin edilen $\text{NH}_4\text{-N}$ salınımı açısından düşük düzeyde negatif yönlü bir salınım bir başka deyişle tutulum

belirlenmiştir. Ayrıca, Mogan Gölü'ne ait çalışmamızın sonuçları, gölü çevreleyen yüksek yapılı sucul bitkilerin yıllık ve mevsimsel azot tutma kapasitelerinin araştırıldığı bir modelleme çalışmasında (Gökmen 2004), mevsimsel sıcaklık dalgalanmalarının, azot ve su akış oranlarının sulak alanlarda potansiyel azot tutulumu üzerine etkili olduğunu ortaya koyan çalışma bulgularını destekler niteliktedir.

Yeni Zelanda'da Burger vd. (2007) tarafından bentik çember inkübasyonu ile sedimentten olan SRP ve amonyum salınım oranları mevsimsel olarak çalışılmıştır. Amonyum salınımı $2200 \text{ mg/m}^2\text{gün}$ ile $270 \text{ mg/m}^2\text{gün}$ arasında değişim göstermiştir. Yaz döneminde amonyum salınım miktarının yüksek oluşu sedimentin yüksek organik madde oranı ile ilişkili bulunmuştur. Mogan Gölü'nde en yüksek azot salınımı ($\text{NO}_3\text{-N}$; $35,16 \mu\text{g m}^{-2}\text{gün}^{-1}$ Ekim ayında) aynı aydaki sedimentin yüksek organik madde düzeyi ile ilişkili olarak tahmin edilmiş olup bu durumun gölde yürütülen sediment tarama işlemleri sonrası tespitinin sedimentin organik madde düzeyindeki azalmayı takiben gerçekleşebileceği düşünülmektedir.

Nehirlerdeki restorasyon çalışmalarının sediment-su arası azot dinamikleri üzerine etkilerini belirleyen bir araştırma Lavella vd. (2019) tarafından Londra'da Thames Nehri'nde yürütülmüştür. Nehrin restore edilen bölgelerinde amonyum salınımı $-8,9$ ile $5,0 \mu\text{g N/m}^2\text{sn}$ olarak hesaplanmıştır. Ortalama nitrat salınımı ise $-33,6$ ile $97,7 \mu\text{g N/m}^2\text{sn}$ arasında tahmin edilmiştir. Ötrofik göllerde azot dinamikleri, mevsimsel olarak değişirken azot limitasyonu genellikle yaz ve sonbahar mevsiminde ortaya çıkmaktadır. Denitrifikasyon, sediment-su ara yüzeyinde gerçekleşirken göllerde azot azalmasının temel sebebi olarak bilinmektedir. Mogan Gölü'nde amonyum ve nitrat salınım aralıkları sırasıyla $-9,16 - 0,36 \mu\text{g/m}^2\text{gün}$ ve $-67,2-35,16 \mu\text{g N/m}^2\text{gün}^{-1}$ olarak tahmin edilmiştir. Ne amonyum ne de nitrat salınımlarının sedimentte çevresel koşullardan doğrudan etkilendiği söylenemezken azot salınımindaki söz konusu düşük değerlerin değişiminin, sedimentin birikim kapasitesi, biyokimyasal transformasyon, antropojenik kirleticiler ve göldeki sediment tarama bazlı spesifik restorasyon aktivitelerinden kaynaklanabileceği söylenebilir.

Azot siklusunda sediment-su ara yüzeyinde çözünmüş oksijen konsantrasyonu redoks potansiyelini yansıtırken, amonyum azotu, nitrat azotu ve nitrit azotunun karşılıklı geçişini de etkiler. Oksijenli koşullarda nitrifikasyon kolay gerçekleşirken sedimentteki nitrat azotu konsantrasyonu daha yüksek değerlere çıkabilir. Sedimentten sediment üstü suya nitrat azotu salınımının tahminine dönük Mi vd. (2007)'nin yaptığı çalışmada belirttiği üzere; Mogan Gölü'nde de nitrat azotu en yüksek değerini oksijen seviyesinin maksimum olduğu (10,50 mg/L) Ekim ayında almıştır. Sedimentten azot salınımının düşük kalması, gölde sediment üstü suyun anoksik koşullara ulaşmamış olması şeklinde açıklanabilir.

Amonyum azot konsantrasyonunun düşük olması azot döngüsünde amonyum azotunun dengede olduğu, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve amonyağın anaerobik oksidasyonunu içeren mikrobiyal komitelerin stabil olması ile açıklanabilir. Amonyum azotu salınımı genel olarak yüksek bulunurken 5,35 ile 48,76 mg/m² gün arasında değişim göstermiştir (Zhu vd. 2019). Farklı bir durum düşük düzeyde tahmin edilen amonyum salınımı (-9,15-0,36 µg/m² gün) ile Mogan Gölü'nde yaşanmaktadır. Düşük oksijen koşullarında, sedimentteki nitrifikasyon-denitrifikasyon engellenir ve tekrar mineralize olan azot su kütlesine birincil üreticilerin kullanımına hazır olarak NH₄ şeklinde geçiş yapar ve böylece ötrofikasyon artış gösterir. Mogan Gölü'nde makrofitlerin yoğunluğu ve genel olarak sediment üstü suyun aerobik olması (ÇO₂: 4,45-10,5 mg/L) sedimentte biriken organik madde ayrışmasını arttırdığından, sedimentin organik madde düzeyi düşük tespit edilmiştir. Gölde söz konusu faktörlerin etkisiyle sedimentten yaz aylarında sınırlı düzeyde azot salınımı gerçekleşmiştir.

Mu vd. (2007) Bohai Koyu'nda Tianjin kıyısında sediment-su ara yüzeyinde, besin elementi salınımının tahmini amacıyla yürüttükleri çalışmada; besin elementi dengesi ve sudaki pirimer produktivitenin varlığı açısından en etkili faktör olduğunu bildirmiştir. Nitrat azotu ve nitrit azotu salınımları oksijensiz koşullarda daha düşük oranda tespit edilirken, amonyum azotu salınımı daha yüksek bulunmuştur. Mogan Gölü'nde araştırma periyodu boyunca oksijenli koşullar devam ettiğinden nitrifikasyon kolay

gerçekleşmekte ve sedimentten sediment üstü suya düşük düzeyde de olsa nitrat azotu salınımı meydana gelmektedir. Ayrıca gölde anoksik koşulların bulunmayışı amonyum azotu salınımını da sınırlandırmıştır.

Alg patlamalarının olduğu mevsimlerde suda çözünmüş inorganik azot alg kullanımına bağlı olarak azalmakta ve bu da suda azot kullanımını sınırlamaktadır. Ötrofik göllerde azot dinamikleri, mevsimsel olarak değişirken azot limitasyonu genellikle yaz ve sonbahar mevsiminde ortaya çıkmaktadır. Besin elementleri ile ilişkili su kalitesi sorunlarına maruz kalan ve Los Angeles Şehir Parkı'nda bulunan Machado Gölü'nde, sedimentten amonyum, nitrat ve fosfatın salınım düzeyleri araştırılmış, kuru dönem olan yaz periyodunda sedimentten yüzey suyuna azot ve fosfatın remobilizasyonunun, bu besin elementlerinin en önemli kaynağı olduğu tespit edilmiştir (Anonymous 2007). Mogan Gölü'nde sedimentten suya olan azot salınımı Anonymous (2007)'den farklı biçimde en düşük $\text{NH}_4\text{-N}$ salınım değeri kuru dönemde, en düşük $\text{NO}_3\text{-N}$ salınım değeri ise yağışlı dönemde tahmin edilerek düzensiz bir dağılım sergilemiştir.

Weston vd. (2000) tarafından yapılan bir çalışmada, amonyum salınım oranlarının istasyonlar arasında farklılık göstermediği ve sonbahar sirkülasyonunun da amonyum salınımını belirgin ölçüde etkilemediği belirlenmiştir. Mogan Gölü'nde araştırma periyodu boyunca düşük organik madde düzeyi, sistemin genel olarak aerobik kalması ile Shen ve arkadaşları (2020) tarafından bildirildiği üzere istasyonlardaki makrofit varlığı, sedimentteki azot tutulumunu teşvik etmiştir. Bu çalışma, Yao vd. (2016)'nin makrofit varlığının sediment denitrifikasyonu ve N_2O salınımı üzerinde önemli bir etki yaratmadığına ilişkin bildirişine benzer bir sonuç ortaya koymuştur. Buna karşın mevsimsel değişim, sediment özellikleri ile tüm azot döngü süreçleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Araştırmamız kapsamında, Mogan Gölü gibi dış kaynaklı kirliliğe maruz kalan ötrofik göllerde azot kirlilik etkilerinin çoğunun karasal ekosistemden kaynaklı olabileceği ve kontrol edilmesi gerektiği söylenebilir.

Büyük, sığ ötrofik göllerde sediment besin elementi dinamiklerinde hidrodinamik önemli rol oynamaktadır. Wu vd. (2019) Taihu Gölü'nde sedimentteki azot ve fosforun yersel değişimi, hidrodinamik sedimentin yüksek çözünürlüğüne bağlı transport taşınım bakış açısı, saha gözlemleri, rakamsal simülasyonlar ve uzun dönem ekolojik veri analizi ile karşılaştırmıştır. Taihu Gölü'nde sedimentin toplam organik karbon içeriği % 1,28-3,52 iken sedimentin toplam azot içeriği 319,4-3123,80 mg/kg olarak belirlenmiştir. Mogan Gölü'nde sedimentin toplam organik karbon içeriği % 2,04-7,25 arasında değişerek Taihu Gölü'ne göre daha yüksek tespit edilirken, sedimentin TN konsantrasyonu ise % 0,13-0,59 arasında gösterdiği değişimle yukarıdaki araştırmacıların bildirişlerine göre oldukça düşük seviyede saptanmıştır. Bu tür ötrofik sucul sistemlerde azot kontrol faktörlerinin neler olduğu net olarak bilinmese de, biyokimyasal işlemler, ilgili taşınım oranı ve azot uzaklaştırma etkinliğinin sedimentteki besin elementi salınımı/tutulumu açısından göller arası farklılık gösterebildiği düşünülmektedir.

Zhong vd. (2021), sediment-su ara yüzeyinde sediment tarama yöntemi kullanarak Taihu Gölü Meiling Koyu'nda azot yüklemesinin uzun vadedeki etkilerini araştırmışlardır. Sediment tarama çalışmaları, yüzey sedimentte organik madde ve toplam azot içeriğini azaltmaya yardımcı olurken sediment-su ara yüzeyindeki redoks potansiyelini iyileştirir. Aynı zamanda çalışma sediment tarama uygulamalarının sığ göllerde iç kaynaklı azot yüklemesini kontrol etmede hem avantajlı hem de dezavantajlı olduğunu ortaya koymuştur. Söz konusu uygulamalar sediment-su ara yüzeyindeki inorganik azot akışını azaltmaya yardımcı olurken, denitrifikasyon ve anammoks yoluyla azotun uzaklaştırılmasını da mümkün kılar. Mogan Gölü'nde de sediment tarama ertesi sedimentten azot salınımını belirlemeye yönelik bu araştırmada; bir yönetim uygulaması olarak bilinen sediment tarama yönteminin, sedimentten olan azot salınımının düşük seviyede kalması üzerine etkili olduğu düşünülmektedir. Bu bağlamda sediment tarama yöntemiyle iç kaynaklı azot yüklemesinin kontrolünü sağlamak adına, göle dış kaynaklı partiküler madde girişi engellenmeli ve sedimentten suya olan azot salınımı süreğen olarak takip edilmelidir.

Makrofit köklerinin sedimente oksijen sağlamasıyla sedimentten göl suyuna besin elementi geçişi engellenmekte, makrofit yoğunluğu çok fazla olduğunda ise sediment oksijensiz kalacağından besin elementi salınımı söz konusu olabilmektedir. Makrofit köklerinin sediment için oksijen kaynağı olduğu ve sedimentten azot salınımını engellemedeki önemleri Doktora Tezi'nin bir sonucudur. Bu bağlamda Mogan Gölü'nde makrofit kontrolü için yerel yönetim tarafından da halen uygulanmakta olan makrofit hasat yöntemi uygun görülmektedir.

Tatlı su sistemlerinde sedimentin fosforu absorbe/desorbe edebilme düzeyini belirlemek için, bir başka ifadeyle sediment örneklerinin fosfor açısından kaynak mı yoksa tuzak mı olduğunun saptanması için EPC_0 ölçümleri sıklıkla kullanılmaktadır (Ezzati vd. 2020). Sedimentte ölçülen EPC_0 suyun SRP (çözünmüş reaktif fosfor) değerinden yüksek ise konsantrasyon açısından denge oluşturabilmek adına fosfor salınımı gerçekleşebilmektedir. Sedimentin EPC_0 değeri suyun SRP değerinden düşük olduğu durumda ise dengedeki çözünmüş fosfor konsantrasyon seviyesinin sürdürülebilmesi için sudan sedimente doğru fosfor adsorbsiyonu tetiklenmektedir. Bu bağlamda Mogan Gölü'nde 2015-2016 yıllarında sedimentten suya olan fosfor salınımında kritik noktanın belirlenmesi için kinetik ve termodinamik model kullanılmıştır. Araştırma sonucunda sedimentte denge fosfat konsantrasyonunun (EPC_0) tahmini sediment üstü suyun toplam çözünmüş fosfat konsantrasyonu yoluyla gerçekleştirilmiştir (Topçu vd. 2018). Doktora tezi kapsamında sediment-su ara yüzeyinde tahmin edilen düşük düzeydeki azot salınımı mevcut durumda göl açısından bir tehdit oluşturmasa da olası azot salınım değeri açısından sediment üstü suyun kritik azot konsantrasyon limitini belirlemeye yönelik yukarıdaki çalışmayı temel alan araştırmalara odaklanılabilir.

5.2 Mogan Gölü'nün İyileştirilmesi Yönündeki Sürdürülebilir Yönetimine İlişkin Öneriler

Mogan Gölü'nde yürütülen doktora tez çalışması ile sedimentten göl suyuna salınan amonyum ve nitrat miktarı (pozitif ve/veya negatif yöndeki); sediment üstü su ve sediment gözenek sularına ilişkin amonyum ve nitrat konsantrasyonları ile sedimentin su içeriği ve sıcaklığa bağlı difüzyon katsayısı kullanılarak yağışlı ve kurak dönem olmak üzere iki farklı periyotta tahmin edilmiştir. Ayrıca sedimentten amonyum ve nitrat salınımını etkileyebilecek faktörlerden su sıcaklığı, çözünmüş oksijen ve pH değerlerinin azot salınımı ile etkileşimi de irdelenmiştir.

Gölde istasyonlardaki makrofit varlığı, köklü akvatik makrofitlerin sistemdeki besin elementi konsantrasyonunu azalttığı olgusunu desteklemektedir. Gölde tahmin edilen düşük düzeydeki azot salınımının, gölün besin düzeyi açısından bir tehlike oluşturmadığı bu araştırma ile ortaya konmuştur. Göllerde ötrofikasyonun kontrolünde iç kaynaklı besin elementi yükünün engellenmesi için fiziko-kimyasal ve biyolojik önlemler alınabilmektedir. Ancak dış kaynaklı besin elementi girişinin kesildiği noktada, sedimentten göle olan iç kaynaklı besin elementi yükü etkin hale geçebilmekte ve ötrofikasyondaki payı artabilmektedir. Mogan Gölü'nde yürütülen bu araştırma ile sediment kaynaklı azot salınımı oldukça düşük tespit edildiğinden, sediment tarama uygulamasının yalnızca gölün derinleştirilmesini sağlamada etkisi olmayacağı ayrıca iç kaynaklı azot yüklemesinin sınırlandırılması açısından da katkı sağlayabileceği söylenebilir. Göl suyu, sediment gözenek suyu ve sedimentteki çeşitli azot formlarına ilişkin veri seti içeren bu araştırma, sediment-su ara yüzeyindeki azot dinamiğinin yağışlı ve kuru dönemlerdeki değişiminin ilk defa belirlenmesi ve bilimsel literatürdeki boşluğun doldurulması ile bu konudaki veri açığının kapatılması bakımından önem taşımaktadır. Ayrıca yöntem ve sonuçlara ilişkin değerlendirmelerin, ötrofikasyon riski altındaki tüm iç su, kıyısal ve denizel ekosistemler için de yorumda kullanılabileceği düşünülmektedir.

Mogan Gölü'nde istasyonlardaki makrofit kökleri sediment için oksijen kaynağı oluşturarak sedimentten azot salınımını engellemede önemli rol oynamaktadır. Bu bağlamda gölde makrofit kontrolü için tamamen uzaklaştırma yerine, yerel yönetim tarafından da halen uygulanmakta olan makrofit hasat yöntemi uygun gözükmektedir. Sonuç olarak bu araştırma ile göl yönetim uygulamaları açısından ötrofik göllerde azot seviyesinin azaltılması için dış kaynaklı besin elementi girdisinin engellenmesi üzerine odaklanması gerektiği ortaya konmuştur.



KAYNAKLAR

- Akkoyunlu, A. and Karaaslan, Y. 2015. Assessment of improvement scenario for water quality in Mogan Lake by using AQUATOX Model. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22:14349-14357.
- Anonim. 2016. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Göller ve Sulak Alanlar Eylem Planı, 2016-2018, syf:27-30. Ankara.
- Anonymous. 2007. Lake Machado nutrient flux study. The Southern California Coastal Water Research Project, USA, 19 p.
- APHA. 1995. Standarts methods for the examination of water and wastewater. 19th Edition. John D., Ducas Co., p. 1-1193, USA.
- B. Moss, B. 1990. Engineering and Biological Approaches to the restoration from eutrophication of shallow lakes in which aquatic plant communities are important components. *Hydrobiologia*, 200–201.
- B. Moss, E. Jeppesen, M. Søndergaard, T.L. Lauridsen, Z.W. Liu 2013. Nitrogen, macrophytes, shallow lakes and nutrient limitation: Resolution of a current controversy? *Hydrobiologia*, 7-10 (1), pp. 3-21.
- B. Moss. The Broad. The People's Wetland 2001. The New Naturalist, Harper Collins Publishers, London.
- Bakri, D. A. and Chowdhury, M. 2006. Internal nutrient flux in an inland water supply reservoir. New South Wales, Australia, *Lakes & Reservoirs. Research and Management*, 11: 39-45.
- Battye, W., Aneja, V. P. & Schlesinger, W. H. 2017. Is nitrogen the next carbon? *Earth's Future* 5, 894-904.
- Beat Müller, Raoul Thoma¹, Kathrin B. L. Baumann¹, Cameron M. Callbeck¹, Carsten J. Schubert 2021. Nitrogen removal processes in lakes of diferent trophic states from on-site measurements and historic data. *Aquatic Sciences* (2021) 83:37 <https://doi.org/10.1007/s00027-021-00795-7>.
- Berrier, K. L., 2015. Analysis of nitrogen and phosphorus nutrient in lake sediment. Senior Honors Project, 2010- 2019, 70.
- Bhatnagar, A. and Sillanpaa M. A. 2011. Review of emerging adsorbents for nitrate removal from water. *Chemical Engineering Journal*, 168, 493-504.

- Bruesewitz, D. A., Tank, J. L., Hamilton, S. K., 2012. Incorporating spatial variation of nitrification and denitrification rates into whole-lake nitrogen Dynamics. *J. Geophys. Res. Biogeosci.* 117, G00N07.
- Bunting, L., Leavitt, P.R., Gibson, C.E., McGee, E.J., Hall, V.A., 2007. Degradation of water quality in lough neagh, Northern Ireland, by diffuse nitrogen flux from a phosphorus-rich catchment. *Limnol. Oceanogr.* 52 (1), 354–369.
- Burnak, L. S., Beklioğlu, M. 2000. Macrophyte-dominated clearwater state of Lake Mogan. *Turkish Journal of Zoology*. Volume 24, Issue 3, page 305-314.
- C. Liu, C. Kroeze, A.Y. Hoekstra, W. 2012. Gerbens-LeenesPast and future trends in grey water footprints of anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs to major world rivers *Ecol. Indic.*, 18, pp. 42-49.
- Carpenter, S.R., 2003. Regime shifts in Lake Ecosystems: pattern and variation excellence in Ecology Series, vol. 15, Ecology Institute, Oldendorf/Luhe, Germany, p. 199.
- Carpenter, S.R., 2005. Eutrophication of aquatic ecosystems: Bistability and soil Phosphorus. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 102 (29). <https://doi.org/10.1073/pnas.0503959102> (10002-10005).
- Chapman, D. 1996. Water quality assessments; a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring-second edition. Published by E&FN Spon, 651 pages.
- Cózar, A., Bruno, M., Bergamino, N., Úbeda, B., Bracchini, L., Dattilo, A.M., Loiselle, S.A., 2012. Basin-scale control on the phytoplankton biomass in Lake Victoria, Africa. *PLoS One* 7 (1), e29962. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029962>.
- D. F. Burger Æ D. P. Hamilton Æ C. A. Pilditch Æ M. M. Gibbs 2007. Benthic nutrient fluxes in a eutrophic, polymictic lake. *Hydrobiologia* (2007) 584:13–25 DOI 10.1007/s10750-007-0582-0.
- Delince, G. 1992. The Ecology of the fish pond ecosystem. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, Pp: 230.
- Deniz Ozkundakci, David P. Hamilton, Max M. Gibbs 2011. Lake Restoration Hypolimnetic phosphorus and nitrogen dynamics in a small, eutrophic lake with a seasonally anoxic hypolimnion *Hydrobiologia* (2011) 661:5–20 DOI 10.1007/s10750-010-0358-9.
- Di Mu a,b, Dekui Yuan a, Huan Feng c, Fangwei Xing a, Fang Yenn Teo a, Shuangzhao Li a. 2007. Nutrient fluxes across sediment-water interface in Bohai Bay Coastal Zone, China. *Marine Pollution Bulletin* 114:705-714.

- Downing, J. A., Mc Cauley, E. 1992. The nitrogen: phosphorus relationship in lakes. *Limnol Oceanogr.* 37:936-945.
- Elser, J. J., Marzolf E. R., Gldman C. R. , 1990. Phosphorus and nitrogen limitation of phytoplankton growth in the fleshaters of North America: a review and critique of experimental enrichments. *Can J. Fish Aquat Sci.* 47:1468-1477.
- Enrich-Prast, A., Figueiredo, V., Assis Esteves, F., Nielsen, P. L., 2016. Controls of sediment nitrogen dynamics in tropical coastal lagoons. *Plos One.* 1-17.
- F. Wu, H. Qing, G. Wan. Regeneration of N, P and Si, N. 2001. Near the sediment/water interface of lakes from Southwestern China Plateau Water Res., 35, pp. 1334-1337.
- Fakıoğlu, Ö. ve Pulatsü, S. 2005. Mogan Gölü'nde (Ankara) bazı restorasyon önlemleri sonrası dış kaynaklı fosfor yükünün belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi (J. Agric. Sci.)*, 15(1): 63-69 (in Turkish).
- FAOSTAT, 2014. FAOSTAT Fertilizers Consumption 2002-2012. (online query) Food and Agricultural Organization of the United Nations (2014).
- Farshay, K. J., Dodson, S. I., 2011. Macrophyte presence is an indicator of enhanced denitrification and nitrification in sediments of temperate restored agricultural stream. *Hydrobiologia* 668, 21-34.
- G. Ezzati a,b , O. Fenton a , M.G. Healy b , L. Christianson c , G.W. Feyereisen d , S. Thornton e , Q. Chen f , B. Fan f , J. Ding f , K. Daly 2020. Impact of P inputs on source-sink P dynamics of sediment along an agricultural ditch network. *Journal of Environmental Management*, 257;109988.
- Gardner, W. S. & McCarthy, M. J. 2009. Nitrogen dynamics at the sediment-water interface in shallow, su-tropical Florida Bay: why denitrification efficiency may decrease with increased eutrophication. *Biogeochemistry* 95, 185-198.
- Gardner, W. S. & McCarthy, M. J., An, S., Sobolev, D., Sell, K. S. & Brock, D. (2006). Nitrogen fixation and dissimilatory nitrate reduction to ammonium (DNRA) support nitrogen Dynamics in Texas estuariaes. *Limnol. Oceanogr.* 51, 558-568.
- Gökmen, M. 2004. Dissolved inorganic nitrogen removal efficiency of the reed beds surrounding Lake Mogan using modelling approaches. The Degree of Master Science, Middle East Technical University (METU), Biology Department, 110, Ankara.

- Guoyu Yin & Lijun Hou & Haibo Zong & Pingxing Ding & Min Liu & Shufang Zhang & Xunliang Cheng & Junliang Zhou 2014. Denitrification and anaerobic ammonium oxidization across the sediment–water interface in the hypereutrophic ecosystem, Jinpu Bay, in the Northeastern Coast of China. *Estuaries and Coasts* DOI 10.1007/s12237-014-9798-1.
- H. Feuchtmayr, R. Moran, K. Hatton, L. Connor, T. Heyes, B. Moss, 2009. Global Warming and Eutrophication: Effects on water chemistry and autotrophic communities in experimental hypertrophic shallow lake mesocosms *J. Appl. Ecol.*, 46 (3) pp. 713-723.
- H.J. Wang, H.Z. Wang, X.M. Liang, S.K. Wu. 2014. Total phosphorus thresholds for regime shifts are nearly equal in subtropical and temperate shallow lakes with moderate depths and areas. *Freshw. Biol.*, 59 (12) (2014), pp. 1659-1671.
- Hakanson, L. and Jansson, M. 2002. Principles of lake sedimentology. The Blackburn Pres. New Jersey, USA, Pp: 316.
- Hale, S. S., 1975. The role of benthic communities in the nitrogen and phosphorus cycles of an estuary. *Recent Adv. Estuar. Res.* 1, 291-308.
- Harrison, W. G. 1980. Nutrient regeneration and primary production in the sea. In: Falkowski PG (ed) *Primary productivity in the sea*. Plenum, New York, pp 433-460.
- Havens, K. E., Fukushima, T., Xie, P., Iwakuma, T., James, R.T., Takamura, N., Hanazato, T., Yamamoto, T. 2001. Nutrient dynamics and the eutrophication of shallow lakes Kasumigaura (Japan), Donghu (PR China), and Okeechobee (USA). *Environmental Pollution*, 111, 263-272.
- Higgins, S.N., Paterson, M.J., Hecky, R.E., Schindler, D.W., Venkiteswaran, J.J., Findlay, D.L., 2017. Biological nitrogen fixation prevents the response of a eutrophic lake to reduced loading of nitrogen: evidence from a 46-year whole-lake experiment. *Ecosystems*, 1–13 <https://doi.org/10.1007/s10021-017-0204-2>.
- Hongjuan Han a,b, Xixi Lu a, David F. Burger c, Umid Man Joshi b, Lu Zhang, 2014. Nitrogen dynamics at the sediment–water interface in a tropical reservoir. *Ecological Engineering*, 73:146-153.
- Hu, G., Luo, X., Li, F., Dai, J., Guo, J., Chen, S., et al., 2010. Organochlorine compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediment from Baiyangdian Lake, North China: concentrations, sources profiles and potential risk. *J. Environ. Sci.* 22, 176–183.

- Hu, W., Lo, W., Chua, H., Sin, S., Yu, P., 2001. Nutrient release and sediment oxygen demand in a eutrophic land-locked embayment in Hong Kong. *Environ. Int.* 26, 369–375.
- Hye Won Lee 1 , Yong Seok Lee 2 , Jonggun Kim 3 , Kyoung Jae Lim 4 and Jung Hyun Choi 2019. Contribution of internal nutrients loading on the water quality of a reservoir. *water*, 11, 1409 ; doi:10.3390/w11071409.
- Jeppesen, E., Søndergaard, M., Christoffersen, K. 1998. The structuring role of submersed macrophytes in lakes. 689-714. *Ecological Studies*.
- Jeppesen E., M. Meerhoff, B. A. Jacobsen, R. S. Hansen, M. Søndergaard, J.P. Jensen, 2007. Restoration of shallow lakes by nutrient control and biomanipulation-the successful strategy varies with lake size and climate. *Hydrobiologia*, 581 (1) pp. 269-285.
- Jeppesen, E., Søndergaard, M., Liu, Z., 2017. Lake restoration and management in a Climate Change Perspective: An Introduction. *Water* 9, 1–8. <https://doi.org/10.3390/w9020122>.
- Jetten MSM 2008. The microbial nitrogen cycle. *Environmental Microbiology*. 10(11):2903-2909. DOI: 10.1111/J.1462-2920.2008.01786.X PMID:18973618.
- Jin, X., Wang, S., Pang, Y., Wu, F.C., 2006. Phosphorus fractions and the effect of pH on the phosphorus release of the sediments from different trophic areas in Taihu Lake, China. *Environ. Pollut.* 139, 288–295.
- K. R. Reddy, R. E. Jessup & P. S. C. Rao 1988. Nitrogen dynamics in a eutrophic lake sediment. *Hydrobiologia* 159: 177-188 (1988).
- K. Sand-Jensen, N. L. Pedersen, I. Thorsgaard, B. Moeslund, J. Borum, K. P. Brodersen 2008. 100 years of vegetation decline and recovery in Lake Fure, Denmark *J. Ecol.*, 96 (2) (2008), pp. 260-271.
- Kacar, B. 1995. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri 3: Toprak Analizleri Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları, No:3, 705s.
- Kapan, C. 2011. Mogan Gölü (Ankara) Kirlilik İncelemesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloj, Anabilim Dalı, 97, Konya.
- Karakoc, G., Erkoc, F. Ü. And Katircioglu, H. 2003. Water quality and impacts of pollution sources for Eymir and Mogan Lakes (Turkey). *Environment International*, 29, 21-27.

- Kesici, T. ve Kocabaş, Z. 2007. Biyoistatistik. Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayın No:94, Ankara.
- Klapwijk, A. and Snodgrass, W. J. 1982. Experimental measurement of sediment nitrification and denitrification in Hamilton Harbour, Canada. *Hydrobiologia*, 91, 207-216.
- Körner Loss of submerged macrophytes in shallow lakes in north-eastern Germany, *Int. Rev. Hydrobiol.*, 87 (4) (2002), pp. 375-384.
- Kuwae, T., Hosokawa, Y. and Eguchi, N. 1998. Dissolved inorganic nitrogen cycling in banzu intertidal sand-flat. *Japan. Mangroves and Salt Marshes*, 2: 167-175.
- L. Xie, P. Xie, H. Tang, 2003. Enhancement of dissolved phosphorus release from sediment to lake water by microcystis blooms — an enclosure experiment in a hyper-eutrophic, subtropical Chinese lake *Environ. Pollut.*, 122, pp. 391-399.
- L. Yang, K. Lei, W. Meng, G. Fu, W. Yan, 2013. Temporal and spatial changes in nutrients and chlorophyll- α in a shallow lake, Lake Chaohu, China: an 11-year investigation *J. Environ. Sci.*, 25, pp. 1117-1123.
- Laurent, A., Fennel, K., Wilson, R., Lehrter, J., Devereux, R. 2016. Parameterization of biogeochemical sediment-water fluxes using in situ measurements and a diagenetic model. *Biogeosciences*, 13, 77-94.
- Lavella, A. M., Bury, N. R., O'shea, F.T., Chadwick, M. A. 2019. Influence of urban river restoration on nitrogen Dynamics at the sediment-water interface. *Journal Plos One*, 1-15.
- Li, H., Wang, Y., Shi, L., Mi, J., Song, D., Pan, X., 2012. Distribution and Fractions of Phosphorus and Nitrogen in Surface Sediments from Dianchi Lake, China. *International Journal of Environmental Research* 6(1):195-208.
- Li, X., Cui, B., Yang, Q., Tian, H., Lan, Y., Wang, T., 2012. Detritus quality controls macrophyte decomposition under different nutrient concentrations in a eutrophic shallow lake, North China. *PLoS One* 7, e42042.
- Liu, J., Cao, L., Dou, S. 2019. Trophic transfer, biomagnification and risk assessments of four common heavy metals in the food web of Laizhou Bay, the Bohai Sea. *Science of The Total environment*. Volume 670, pages: 508-522.
- Lu Yao, Chengrong Chen, Guihua Liu, Wenzhi Liu, 2018. Sediment nitrogen cycling rates and microbial abundance along a submerged vegetation gradient in a eutrophic lake. *Science of the Total Environment*, 616-617:899-907.

- M.A. González Sagrario, E. Jeppesen, J. Gomà, M. Søndergaard, J.P. Jensen, T. Lauridsen, 2005. does high nitrogen loading prevent clear-water conditions in shallow lakes at moderately high phosphorus concentrations? *Freshw. Biol.*, 50 (1) pp. 27-41.
- Maslukah, L., Yulina Wulandari, Y. S., Prasetyawan, I. B., Zainuri, M. 2018. Distributions and fluxes of nitrogen and phosphorus nutrients in porewater sediments in the Estuary of Jepara Indonesia. *Journal of Ecological Engineering*, Volume 20, Issue 2, February.
- Matisoff, G., Watson, S.B., Guo, J., Duewiger, A., Steely, R., 2017. Sediment and nutrient distribution and resuspension in Lake Winnipeg. *Sci. Total Environ.* 575, 173–186.
- Mohammed, S.M. and Johnstone, R.W. 2002. Porewater nutrient profiles and nutrient sediment-water exchange in a tropical mangrove waterway, Mapopwe Creek, Chwaka Bay, Zanzibar. *Afr. J. Ecol.*, 40: 172-178.
- Ni Z., S. Wang. Historical accumulation and environmental risk of nitrogen and phosphorus in sediments of Erhai Lake, Southwest China *Ecol. Eng.*, 79 (2015), pp. 42-53.X.
- Nyenje, P. M., Foppen, J. W., Uhlenbrook, S., Kulabako, R. & Muwanga, A. 2010. Eutrophication and nutrient release in urban areas of sub-Saharan Africa- A review. *Sci. Total Environ.* 408, 447-455.
- O'Neil, J.M., Davis, T.W., Burford, M.A., Gobler, C.J., 2012. The rise of harmful cyanobacteria blooms: the potential roles of eutrophication and climate change. *Harmful Algae* 14, 313–334.
- Özkundakçı, D., Hamilton, D.P., Gibbs, M.M. 2011. Hypolimnetic phosphorus and nitrogen dynamics in a small, eutrophic lake with a seasonally anoxic hypolimnion. *Hydrobiologia*, 661:5–20 DOI 10.1007/s10750-010-0358-9.
- Paerl, H.W., Hall, N.S., Calandrino, E.S., 2011. Controlling harmful cyanobacterial blooms in a world experiencing anthropogenic and climatic-induced change. *Sci. Total Environ.* 409 (10), 1739–1745.
- Payton, A., Roberts, K., Watson, S., Peek, S., Chuang, P.C., Defforey, D., Kendall, C., 2017. Internal loading of phosphate in Lake Erie Central Basin. *Sci. Total Environ.* 579, 1356–1365.
- Pulatsu, S., Topcu, A. 2009. Seasonal and vertical distributions of porewater phosphorus and iron concentrations in a macrophyte-dominated eutrophic lake. *Journal of Environmental Biology*, 30 (5):801-806.

- Pulatsü, S., Karabacak, O.N. 2003. Bazı restorasyon önlemleri sonrası Mogan Gölün'de besin düzeyinin belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi. 2 (10): 7-14.
- Qing Yu, Honh-Zhu Wang, Yan Li, Jian-Chun Shao, Xiao-Min Liang 2015. Effects of high nitrogen concentrations on the growth of submersed macrophytes at moderate phosphorus concentrations. Water Research, page:385-395.
- Qu, W., Morrison, R. J., West, R. J. 2003. Inorganic nutrient and oxygen fluxes across the sediment-water interface in the inshore macrophyte areas of a shallow estuary (Lake Illaworra Australia). Hydrobiologia, 492. 119-127.
- Qui, W., Morrison, R.J. and West, R.J. 2003. Inorganic nutrient and oxygen fluxes across the sediment-water interface in the inshore macrophyte areas of a shallow Estuary (Lake Illawara, Australia). Hydrobiologia, 492: 119-127.
- Ram, A., Zingde, M. D. 2000. Interstitial water chemistry and nutrients fluxes from tropical intertidal sediment. Indian Journal of Marine Sciences, Vol. 209, pp; 310-318.
- Ryter, J. H, Dunstan WM. 1971. Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the marine environment. Science 171:1008-1013.
- S. L. Burnak, M. Beklioğlu, 2000. Macrophyte-dominated clearwater state of Lake Mogan, Turk Journal of Zoology, 24, (2000) 305-313.
- Scheffer, M., 1998. Ecology of Shallow Lakes Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Schindler, D. W., 1977. Evolution of phosphorus limitaion in lakes. Science 195:260-262.
- Seitzinger, S.P., Kroeze, C., 1998. Global distribution of nitrous oxide production and N inputs in freshwater and coastal marine ecosystems. Glob. Biogeochem. Cycle 12 (1), 93–113.
- Serpa, D., Falcao, M., Duarte, P., Fonseca, C. and Vale, C. 2007. Evaluation of the ammonium and phosphate release from intertidal and subtidal sediments of a shallow Coastal Lagoon (Ria Formosa-Portugal): a modelling approach. Biogeochemistry, 82(3): 291-304.
- Sha-sha Z., Pei-fang W., Chao W., and Jun H., 2015. Sediment resuspension under action of wind in Taihu Lake, China. International Journal of Sediment Research 30: 48-62.

- Shayo, S., Limbu, M. S., 2018. Nutrient release from the sediments and biological nitrogen fixation; advancing sources of eutrophication in Lake Victoria, Tanzania. *Lakes & Reservoirs Research & Management*. 23 (4) 2-20.
- Shen, Y., Huang, Y., Hu, J., Li, P., Zhang, C., Li, L., Xu, P. 2020. The nitrogen reduction in eutrophic water column driven by *Microcystis* Bloom. *Journal of Hazardous Materials*. 385:121578.
- Sherastha, M. K., Lin, C. K. 1996. Phosphorus fertilization strategy in fish pond based on sediment phosphorus saturation level. *Aquaculture*, volume 142, pages:207-17.
- Shu, Liang, J. Yangle, Y. X in Effect of the pH value on the nitrogen and phosphorus release from the sediment Baiyangdian J. *Anhui Agric. Sci.*, 38 (2010), pp. 20859-20862.
- Shu, Liang, J. Yangle, Y. X. 2010. In Effect of the pH value on the nitrogen and phosphorus release from the sediment Baiyangdian J. *Anhui Agric. Sci.*, 38 (2010), pp. 20859-20862.
- Song, K., Kang, H., Zhang, L., Mitsch, W. J., 2012. Seasonal and spatial variations of denitrification and denitrifying bacterial community structure in created riverine wetlands. *Ecol. Eng.* 38, 130-134.
- Stone, R., 2011. China aims to turn tide against toxic lake pollution. *Science* 333, 1210–1211.
- Szogi, A.A., Hunt, P.G. and Humenik, F.J. 2003. Nitrogen distribution in soils of constructed wetlands treating Lagoon Wastewater. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67: 1943-1951.
- T.W. Davis, G.S. Bullerjahn, T. Tuttle, R.M. McKay, S.B. Watson Effects of increasing nitrogen and phosphorus concentrations on phytoplankton community growth and toxicity during *Planktothrix* blooms in Sandusky Bay, Lake Erie *Environ. Sci. Technol.*, 49 (2015), p. 7197.
- Tan, E., Zou, W., Zheng, Z., Yan, X., Du, M., Hsu, T., Tian, L., Middelburg, J. J., Trull, W. T., and Kao, S., 2020. Warming stimulates sediment denitrification at the expense of anaerobic ammonium oxidation. *Nature Climate Change*, Vol:10, page: 349-355.
- Tingfeng, W., Boqiang Q., Justin D. Brookes, Wenming, Y., Xiaoyan, J., Jian F. 2019. Spatial distribution of sediment nitrogen and phosphorus in Lake Taihu from a hydrodynamics-induced transport perspective. *Science of the Total Environment*, 650:1554-1565.

- Topcu, A. and Pulatsu, S. 2017. Evaluation of some management strategies in eutrophic Mogan lake, Turkey: phosphorus mobility in the sediment-water interface. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15(4):705-717.
- Topcu, A. and Pulatsu, S. 2008. Phosphorus fractions in sediment profiles of the eutrophic Lake Mogan. *Fresenius Environmental Bulletin*, 17 (2): 164-172.
- Topcu, A., Pulatsu, S. 2008. A case study on vertical and seasonal variation of microbial biomass phosphorus in littoral sediment. *Fresenius Environmental Bulletin*. 17(9A): 1247-1250.
- Topcu, A., Pulatsu, S. 2008. Phosphorus Fractions in Sediment Profiles of the Eutrophic Lake Mogan, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 17 (2): 164-172.
- Topcu, A., Ulusoy, U., Pulatsu, S. 2018. Determination of sediment phosphate sorption characteristics in shallow Mogan Lake Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*. 16(5):5971-5985.
- Uslu, O., Türkman, A. 1987. Su Kirliliği ve Kontrolü. Baskı/Yayın Bilgisi: Ankara, Başbakanlık, Çevre Genel Müdürlüğü. Eğitim Dizisi 1.
- Vitousek, P.M., Aber, J.D., Howarth, R.W., 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecol. Appl.* 7 (3), 737–750.
- W. Hu, W. Lo, H. Chua, S. Sin, P. Yu Nutrient release and sediment oxygen demand in a eutrophic land-locked embayment in Hong Kong *Environ. Int.*, 26 (2001), pp. 369-375.
- Wallenstein, M. D., Myrold, D. D., Firestone, M., Voytek, M., 2006. Environmental controls on denitrifying communities and denitrification rates: insights from molecular methods. *Ecol. Appl.* 16, 2143-2152.
- Weston, N.H., Evarts J.N. and Vanni, M.J. 2005. Release rates and potential fates of nitrogen and phosphorus from sediments in a Eutrophic Reservoir. *Freshwater Biology*, 50(2): 301-322.
- Wu, T., Qui, B., Brookes, J.D., Yan, W., Ji, X., Feng, J. 2019. Spatial distribution of sediment nitrogen and phosphorus in Lake Taihu from a hydrodynamics-induced transport perspective. *Science of the Total Environment*, 650, 1554-1564.
- X. Jin, S. Wang, Y. Pang, F.C. Wu, 2006. Phosphorus fractions and the effect of pH on the phosphorus release of the sediments from different trophic areas in Taihu Lake, China *Environ. Pollut.*, 139 (2006), pp. 288-295.

- X. Lin, B. Cui, Q. Yang, H. Tian, Y. Lan, T. Wang, 2012. Detritus quality controls macrophyte decomposition under different nutrient concentrations in a eutrophic shallow lake, North China PLoS One, 7 (2012), Article e42042.
- Xhang, M., Xu, J., Xie, P., 2008. Nitrogen dynamics in large shallow eutrophic Lake Chaohu, China. *Environ. Geol.* 55:1-8.
- Xie, L., Xie, P., Tang, H., 2003. Enhancement of dissolved phosphorus release from sediment to lake water by *Microcystis* blooms — an enclosure experiment in a hyper-eutrophic, subtropical Chinese lake. *Environ. Pollut.* 122, 391–399.
- Xu, J., Xie, P., Zhang, M., Yang, H. 2005. Variation in stable isotope signatures of seston and a zooplanktivorous fish in a eutrophic Chinese lake. *Hydrobiologia.* 541:215-220.
- Yamamoto, Y., 2011. Indirect impact of bluegill *Lepomis macrochirus* on the development of cyanobacterial blooms in Lake Biwa, Japan. *J. Freshw. Ecol.* 26, 323–335.
- Yao, L., Chen, C., Liu, G., Liu, W., 2018. Sediment nitrogen cycling rates and microbial abundance along a submerged vegetation gradient in a eutrophic lake. *Science of the Total Environment*, 616-617, 899-997.
- Yao, L., Jiang, X., Chen, C., Liu, G., Liu, W., 2016. Within-lake variability and environmental controls of sediment denitrification and associated N₂O production in a shallow eutrophic lake. *Ecol. Eng.* 97, 251-257.
- Yashu Liu a, Renbin Zhu a, Dawei Ma a, Hua Xu b, Yuhan Luo a, Tao Huang a, Liguang Sun a 2011. Temporal and spatial variations of nitrous oxide fluxes from the littoral zones of three alga-rich lakes in coastal Antarctica. *Atmospheric Environment*, 45: 1464-1475.
- Yerli, S.V., Kıvrak, E., Gürbüz, H., Manav, E., Mangıt, F. And Türkecan, O. 2012. Phytoplankton community, nutrients and chlorophyll a in Lake Mogan (Turkey); with comparasion between current and old data. *Turkish Journal of Fisheries Aquatic Science*, 12:95-104.
- Yu, Q., Wang, H., Li, Y., Shao, J., Liang, X., Jeppensen, E., Wang, H. 2015. Effects of high nitrogen concentrations on the growth of submersed macrophytes at moderate phosphorus concentrations. *Water Research* 83. 385-395.
- Zhang, L., Zhang, S., Xiaoyang Lv, Zheng Qiu, Ziqiu Zhang, Liying Yan, 2018. Dissolved organic matter release in overlying water and bacterial community shifts in biofilm during the decomposition of *Myriophyllum verticillatum*. *Science of The Total Environment* 633:929-937.

- Zhang, M., Xu, J., Xie, P. 2008. Nitrogen Dynamics in large shallow eutrophic Lake Chaohu, China. *Environ. Geol.* 55:1-8.
- Zhang, Y.F. and Angelidaki, I. (2012). A New method for in situ nitrate removal from groundwater using submerged microbial desalination-denitrification cell (SMDDC). *Water Research*, 47, 1827-1836.
- Zhong, J., Wen, S., Zhang, Lu., Wang, J., Liu, C., Yu, J., Zhang, Lei, Fan, C., 2021. Nitrogen budget at sediment–water interface altered by sediment dredging and settling particles: Benefits and drawbacks in managing eutrophication. *Journal of Hazardous Materials*, 406, 124491.
- Zhu, Y., Xin Jin, Wenzhong Tang, Xin Meng, Baoqing Shan. Comprehensive analysis of nitrogen distributions and ammonia nitrogen release fluxes in the sediments of Baiyangdian Lake, China. *Journal of Environmental Science*, 2019 page:319-328.