

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



DOĞAL GÖL-KARA EKOTONLARINDAN ISLAK-KURU
TOPRAK DEĞİŞKENLİĞİ BOYUNCA SALIVERİLEN
METAN, KARBONDİOKSİT VE NİTRÖZ OKSİT DIŞ
AKILARININ MEKÂNSAL-ZAMANSAL
DİNAMİKLERİNİN MODELLENMESİ

DOKTORA TEZİ

PELİN ERTÜRK ARI

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Nusret KARAKAYA

İKİNCİ TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Fatih EVRENDİLEK

BOLU, KASIM - 2023

KABUL VE ONAY SAYFASI

Pelin ERTÜRK ARI tarafından hazırlanan “**DOĞAL GÖL-KARA EKOTONLARINDAN ISLAK-KURU TOPRAK DEĞİŞKENLİĞİ BOYUNCA SALIVERİLEN METAN, KARBONDİOKSİT VE NİTRÖZ OKSİT DIŞ AKILARININ MEKÂNSAL-ZAMANSAL DİNAMİKLERİNİN MODELLENMESİ**” adlı tez çalışması jürimiz tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora Tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir. 20/11/2023

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Nusret KARAKAYA
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Prof. Dr. Fatma ÖZTÜRK
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Prof. Dr. Sema YURDAKUL
Süleyman Demirel Üniversitesi

.....

Üye
Prof. Dr. Meriç ALBAY
İstanbul Üniversitesi

.....

Üye
Prof. Dr. Alper ELÇİ
Dokuz Eylül Üniversitesi

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. İbrahim KÜRTÜL

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir,

aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Teze ilişkin Turnitin adlı programında enstitü müdürlüğünce belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı %30'u geçmemektedir.

.....
PELİN ERTÜRK ARI

ÖZET

DOĞAL GÖL-KARA EKOTONLARINDAN ISLAK-KURU TOPRAK DEĞİŞKENLİĞİ BOYUNCA SALIVERİLEN METAN, KARBONDİOKSİT VE NİTRÖZ OKSİT DIŞ AKILARININ MEKÂNSAL- ZAMANSAL DİNAMİKLERİNİN MODELLENMESİ

DOKTORA TEZİ

PELİN ERTÜRK ARI

BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. NUSRET KARAKAYA)

(İKİNCİ DANIŞMAN: PROF. DR. FATİH EVRENDİLEK)

BOLU, KASIM - 2023

XVII + 110

Küresel ölçekte birçok göl, su çekilmesi, arazi kullanımı ve iklim değişikliği gibi nedenlerle kuruma tehdidiyle karşı karşıyadır. Kuruma süreciyle birlikte havayla temas eden göl sedimanları karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) ve nitröz oksit (N_2O) akıları açısından sıcak noktalar haline gelebilmektedir. Kuruyan ve atmosferik oksijene maruz kalan göl sedimanlarından kaynaklanan CO_2 , CH_4 ve N_2O akılarının ölçümü günümüze kadar önemli ölçüde ihmal edildiği için, küresel karbon (C) ve azot (N) bütçelerinin doğru hesaplanmasında önemli belirsizlikler oluşturmaktadır. Bu çalışma kapsamında, Türkiye'nin batı kesiminde yer alan 20 gölde ıslak-kuru gradyanı (değişimi), günlük zaman dilimi gradyanı (sabah-öğleden sonra) ve ekolojik coğrafi bölge gradyanı (enlem-boylam; 5 ayrı coğrafi bölge) boyunca CO_2 , CH_4 ve N_2O sediman dış akı dinamikleri ölçülmüş ve bu akıları doğrusal ve doğrusal olmayan şekilde etkileyen çevresel faktörler teşhis edilmiştir. Günlük ortalama CO_2 , CH_4 ve N_2O akıları sırasıyla, ıslak sedimanlardan $3,79 \pm 6,71$; $0,54 \pm 1,30$ ve $0,006 \pm 0,007$ ve kuru sedimanlardan $24,22 \pm 74,94$; $0,04 \pm 0,06$ ve $0,004 \pm 0,008$ $\text{mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Sedimanın fizikokimyasal özelliklerinin ıslak-kuru gradyan, gün içi zaman gradyanı ve mekânsal kategorik değişkenler ile birlikte değerlendirilerek sediman CO_2 , CH_4 ve N_2O akıları üzerindeki nispi etkileri açıklanmıştır. ANN ve Monte Carlo yeniden örnekleme yöntemine dayalı model yaklaşımı ile CO_2 , CH_4 ve N_2O akılarının güdüleyicilerinin önem seviyeleri fizikokimyasal özellikleri, zamansal ve mekânsal parametrelerle ve bu parametrelerin etkileşimlerinin etkileriyle birlikte açıklanmıştır. Buna göre SPI_3 , ıslak-kuru gradyan, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (mg L^{-1}), enlem ve RP (mV) açıklayıcı değişkenleri kuruyan tatlı su sedimanları CH_4 ve CO_2 akıları oluşum mekanizmalarını açıklamada en önemli faktörler olarak öne çıkmıştır. N_2O akıları için ise bu faktörler SPI_3 , SHC (%), enlem ve $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (mg L^{-1}) şeklindedir.

ANAHTAR KELİMELE: Sera gazları, İklim değişikliği, Göl sedimanları, Kuraklık, Biyojeokimyasal döngüler

ABSTRACT

MODELING OF SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF METHANE, CARBON DIOXIDE AND NITROGEN OXIDE EFFLUXES EMITTED FROM NATURAL LAKE-LAND ECOTONES ALONG THE WET-TO- DRY SOIL GRADIENT

PHD THESIS

PELİN ERTÜRK ARI

BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY

INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

(SUPERVISOR: PROF. DR. NUSRET KARAKAYA)

(CO-SUPERVISOR: PROF. DR. FATİH EVRENDİLEK)

BOLU, NOVEMBER 2023

XVII + 110

Globally, many lakes are facing the threat of drying up due to water withdrawal, land use and climate change. During the drying process, lake sediments exposed to air can become hot spots for carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) fluxes. Measurement of CO₂, CH₄ and N₂O fluxes emitted from the air-exposed dry lake sediments has been largely neglected to date, resulting in significant uncertainties in the accurate calculation of global carbon (C) and nitrogen (N) budgets. In this study, CO₂, CH₄ and N₂O sediment external flux dynamics along a wet-dry gradient (variation), daily time gradient (morning-afternoon) and ecological geographic gradient (latitude-longitude; 5 different geographic regions) in 20 lakes located in western part Turkey were measured and both linear and non-linear environmental drivers controlling the fluxes nonlinearly identified. The mean daily fluxes of CO₂, CH₄ and N₂O were $3,79 \pm 6,71$, $0,54 \pm 1,30$ and $0,006 \pm 0,007$ from wet sediments and $24,22 \pm 74,94$, $0,04 \pm 0,06$ and $0,004 \pm 0,008$ mmol m⁻² h⁻¹ from dry sediments, respectively. The relative effects of sediment physicochemical properties on sediment CO₂, CH₄ and N₂O fluxes are explained by evaluating them together with the wet-dry gradient, diurnal time gradient and spatial categorical variables. With the model approach based on ANN and Monte Carlo resampling method, the importance levels of the drivers of CO₂, CH₄ and N₂O fluxes are explained together with their physicochemical properties, temporal and spatial parameters and the effects of their interactions. Accordingly, the explanatory variables of SPI₃, wet-dry gradient, PO₄³⁻-P (mg L⁻¹), latitude and RP (mV) stand out as the most important factors in explaining the formation mechanisms of CH₄ and CO₂ fluxes in drying freshwater sediments. For the N₂O fluxes, the most important drivers are SPI₃, SHC (%), latitude and PO₄³⁻-P (mg L⁻¹).

KEYWORDS: Greenhouse gases, Climate change, Lake sediments, Drought, Biogeochemical cycles

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL VE ONAY SAYFASI	iii
ETİK BEYAN.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
TABLO LİSTESİ	x
FOTOĞRAF LİSTESİ	xii
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xiii
TEŞEKKÜR	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	5
2.1 Atmosferik CO ₂ , CH ₄ ve N ₂ O Sera Gazları Derişimleri ve Küresel Isınma Potansiyelleri	5
2.2 Küresel CO ₂ , CH ₄ ve N ₂ O Bütçeleri ve İç Suların Bütçedeki Rolü	9
2.3 Sedimanlarda CH ₄ , CO ₂ ve N ₂ O Akılarının Oluşum Mekanizmaları	20
2.4 Sera Gazlarının Oluşum Süreçlerine Etkiyen Çevresel Parametreler.....	24
2.4.1 Toprak/Sediman Sıcaklığı	24
2.4.2 Sediman Nemi	25
2.4.3 Organik Madde ve Besin Maddesi İçeriği	25
2.4.4 pH Aralığı	26
2.4.5 Toprak/Sediman Dokusu	26
2.4.6 Redoks Potansiyeli	27
2.5 Toprak ve Sedimanlardan Sera Gazı Emisyonu Ölçüm Yöntemleri	28
2.5.1 Kapalı Hazne Sistemleri	28
2.5.2 Mikrometeorolojik Metotlar	31
3. MATERYAL VE YÖNTEM	33
3.1 Örnekleme Noktaları ve Tanımlayıcı Özellikleri	33
3.2 Sediman Fizikokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi	40
3.3 Örnekleme Yöntemi ve Sera Gazı Analizleri	42
3.4 Kalite Kontrol ve Kalite Güvence	43
3.5 Sera Gazı Akılarının Hesaplanması.....	47
3.6 İstatistiksel Veri Analizleri	48
4. BULGULAR	50
4.1 Sediman CO ₂ , CH ₄ ve N ₂ O Akılarının Mekânsallığı	50
4.2 Sediman CO ₂ , CH ₄ ve N ₂ O Akılarının Zamansal Dinamikliği	57
4.3 Sediman CO ₂ , CH ₄ ve N ₂ O Salınımları Üzerinde Çok Yönlü Etkileşimlerin Belirlenmesi.....	60

4.4 Sediman CO ₂ , N ₂ O ve CH ₄ Akılarının Doğrusal Olmayan G�d�leyicileri	62
4.5 CO ₂ , CH ₄ ve N ₂ O Akılarının �evresel Etmenlere Bağlı Yapay Sinir Ağı (Artificial Neural Network - ANN) ve Rastgele Orman (Random Forest – RF) Yaklaşımlarıyla Modellenmesi	65
4.6 CO ₂ , CH ₄ ve N ₂ O İçin Kaynak ve Yutak Yanıtlarının Optimizasyonu	70
5. TARTIşMA	79
5.1 Çalışma Sonuçlarının Benzer �alışmalarla Karşılaştırılması	79
5.2 Sediman CO ₂ , N ₂ O ve CH ₄ Akılarının Zamansal, Mekânsal, �evresel ve Coğrafik Belirleyicileri ve Modellenebilirliği	83
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	88
7. KAYNAKLAR	92



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Tez çalışması iş akış diagramı	4
Şekil 2.1. Küresel ortalama atmosferik CO ₂ (a), CH ₄ (b) ve N ₂ O (c) sera gazlarının zamansal değişimleri	8
Şekil 2.2. Tatlısu sedimanlarında karbon döngüsünü belirleyen ana süreçlerin kavramsal tasviri ve kontrol eden parametreler (Reverey vd., 2016)..	21
Şekil 2.3. Sediman ve toprakta nitroz oksit oluşum mekanizmaları (Giles vd., 2012).....	24
Şekil 2.4. Yüzeyden gaz örneklemesinde kullanılan örnek bir statik hazne (Kahmark vd., 2020)	29
Şekil 2.5. Açık dinamik hazne örnekleme sistemi (Rochette vd., 1997)	30
Şekil 2.6. Açık dinamik hazne örnekleme sistemi (Cowan vd., 2014).....	31
Şekil 2.7. Eddy kovaryans sistemi (Tern Ekosistem Araştırma Organizasyonu, 2023).....	32
Şekil 3.1. Çalışma kapsamında ziyaret edilen 20 gölün konum haritası.	34
Şekil 3.2. CO ₂ referans tüpten doğrudan enjeksiyon analiz sonuçları	44
Şekil 3.3. CH ₄ referans tüpten doğrudan enjeksiyon analiz sonuçları	45
Şekil 3.4. N ₂ O referans tüpten doğrudan enjeksiyon analiz sonuçları.....	45
Şekil 4.1. ANN (Doğrusal) modellerinin mimarisi.....	66
Şekil 4.2. ANN (TanH) modellerinin mimarisi	67
Şekil 4.3. ANN (Gausyan) modellerinin mimarisi	68
Şekil 4.4. Yapay sinir ağları (ANN) temelli ve Monte Carlo yeniden örneklemeye dayalı olarak CH ₄ akılarının en az olduğu durum için için 14 tahmin bileşeninin kombinasyonları (a) ve göreceli önem sıralaması (b)..	73
Şekil 4.5. Yapay sinir ağları (ANN) temelli ve Monte Carlo yeniden örneklemeye dayalı olarak CH ₄ akılarının en fazla olduğu durum için için 14 tahmin bileşeninin kombinasyonları (a) ve göreceli önem sıralaması (b)..	74
Şekil 4.6. Yapay sinir ağları (ANN) temelli ve Monte Carlo yeniden örneklemeye dayalı olarak CO ₂ akılarının en az olduğu durum için için 14 tahmin bileşeninin kombinasyonları (a) ve göreceli önem sıralaması (b)..	75
Şekil 4.7. Yapay sinir ağları (ANN) temelli ve Monte Carlo yeniden örneklemeye dayalı olarak CO ₂ akılarının en fazla olduğu durum için için 14 tahmin bileşeninin kombinasyonları (a) ve göreceli önem sıralaması (b)..	76
Şekil 4.9. Yapay sinir ağları (ANN) temelli ve Monte Carlo yeniden örneklemeye dayalı olarak N ₂ O akılarının en fazla olduğu durum için için 14 tahmin bileşeninin kombinasyonları (a) ve göreceli önem sıralaması (b)..	78

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Çalışma kapsamında ziyaret edilen göllere ait özellikler.....	39
Tablo 3.2. Standart Yağış Endeksi sınıflandırması	40
Tablo 3.3. Tüpten şırıngayla cihaza doğrudan enjeksiyon ile incelenen tekrarlanabilirlik testi sonuçları (n=20).....	46
Tablo 3.4. Vialden şırıngayla cihaza enjekte edilen örneklerin analiz sonuçları..	46
Tablo 3.5. Araziye götürülen vekil tüpler ve analiz sonuçları	47
Tablo 4.1. Veri betimleyici istatistikleri.....	51
Tablo 4.2. Sera gazı akıları ($\text{mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$) ile mekânsal ve zamansal etkenler arasında Spearman korelasyon matrisi analizi	53
Tablo 4.3. Sera gazı akıları ($\text{mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$) ile kategorik etkenler arasında Spearman'ın korelasyon matrisi analizi	53
Tablo 4.4. Sera gazı akıları ($\text{mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$) ile çevresel etkenler arasında Spearman'ın korelasyon matris analizi	54
Tablo 4.5. 20 gölden salıverilen CH_4 , CO_2 ve N_2O akılarının (en küçük kareler ortalama $\pm$ standart hata $\text{mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$) Tukey HSD çoklu karşılaştırma testine göre mekânsal farklılıkları ($p < 0,0001$).	56
Tablo 4.6. CH_4 , CO_2 , ve N_2O akılarının (en küçük kareler ortalama $\pm$ standart hata $\text{mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$) 5 coğrafi bölge arası mekânsallığının Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi ile incelenmesi ($p < 0,0001$).....	56
Tablo 4.7. Student's t ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testlerine göre CH_4 , CO_2 ve N_2O akılarının (en küçük kareler ortalama $\pm$ standart hata $\text{mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$) ıslak-kuru ($p < 0,0001$), sabah-öğleden sonra ($p > 0,05$) ve bu iki faktörün etkileşimi için farklılıkları ($p > 0,05$).	57
Tablo 4.8. Tukey HSD çoklu karşılaştırma testine göre CH_4 , CO_2 and N_2O akılarının (en küçük kareler ortalama $\pm$ standart hata $\text{mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$) göller arasında zamansal olarak farklılıkları ($p = 0,9922$, $=0,4618$ ve $=$ $0,0006$).....	59
Tablo 4.9. Beş coğrafi bölgede CH_4 , CO_2 , and N_2O akılarının (en küçük kareler ortalama $\pm$ standart hata $\text{mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$) gün içi periyoda göre zamansal değişiminin Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi ile bölgeler özelinde ve bölgeler arasında karşılaştırılması ($p < 0,0001$, $p = 0,0024$, ve $=$ $0,1584$).....	60
Tablo 4.10. Gün içi ve ıslak-kuru gradyanlar etkileşiminin göl CH_4 , CO_2 , ve N_2O akılarına (en küçük kareler ort + standart hata $\text{mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$) etkileşiminin üç-yollu ANOVA - Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi ile incelenmesi (sırasıyla $p = 0,9637$, $= 0,9668$ ve $= 0,0565$).	61
Tablo 4.11. 10 çevresel faktörün CO_2 , N_2O ve CH_4 akılarına enlemsel ve ıslak- kuru gradyanlar boyunca etkileşiminin kübik fonksiyon uyumuna dayalı olarak hesaplanmış tahmin katsayısı (r^2_{adj} , %) değerleri.	64
Tablo 4.12. ANN (TanH) modellerinin eğitim ve validasyon veri setlerine göre performans ölçütleri.	69
Tablo 4.13. ANN (Doğrusal) modellerinin eğitim ve validasyon veri setlerine göre performans ölçütleri.	69

Tablo 4.14. ANN (Gausyan) modellerinin eğitim ve validasyon veri setlerine göre performans ölçütleri.	69
Tablo 4.15. RF modellerinin eğitim ve validasyon veri setlerine göre performans ölçütleri.....	70
Tablo 5.1. Günlük ortalama sera gazı akılarının ($\text{mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) benzer çalışmalarla (ortalama $\pm$ Std. Sapma veya min-max) karşılaştırılması	82



FOTOĞRAF LİSTESİ

Sayfa

Fotoğraf 3.1. Akdeniz Bölgesi gölleri ((a) Salda, (b) Karataş, (c) Yarışlı, (d) Eğirdir, (e) Beyşehir ve (f) Köyceğiz)	35
Fotoğraf 3.2. Ege Bölgesi gölleri ((a) Bafa, (b) Karine, (c) Göl Marmara ve (d) Işıklı)	36
Fotoğraf 3.3. Marmara Bölgesi gölleri ((a) Sapanca, (b) Manyas, (c) Ulubat, (d) İznik, (e) Durusu)	37
Fotoğraf 3.4. İç Anadolu Bölgesi gölleri ((a) Mogan, (b) Seyfe ve (c) Eber)	38
Fotoğraf 3.5. Karadeniz Bölgesi gölleri ((a) Yeniçağa ve (b) Gököy Baraj Gölü)	38
Fotoğraf 3.6. Analizlerde kullanılan gaz kromatografi sistemi	43

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

AICc	: Akaike Bilgi Kriterinin (<i>Akaike's Information Criterion</i>)
ANN	: Artificial Neural Network (<i>Yapay Sinir Ağları</i>)
C	: Karbon
CO₂	: Karbon dioksit
CH₄	: Metan
CH₃COOH	: Asetat
¹²C	: Karbon 12 izotopu
¹³C	: Karbon 13 izotopu
CL	: Kıl içeriği
C/N	: Karbon/Azot oranı
CO₃⁻	: Karbonat iyonu
cm	: Santimetrekaare
cm²	: Santimetrekaare
cm⁻²	: 1/Santimetrekaare
cm³	: Santimetreküp
cm⁻³	: 1/Santimetreküp
CV	: Varyasyon katsayısı
d⁻¹	: 1/gün
d¹³C-CO₂	: Toplam karbon dioksit içinde karbon-13 izotopu bindelik kesri
¹⁴C	: Karbon 14 izotopu
d¹⁴C-CO₂	: Toplam karbon dioksit içinde karbon-14 izotopu bindelik kesri
DOY	: Day of year (<i>Yılın n. günü</i>)
EC	: Elektriksel iletkenlik
ECD	: Elektron yakalama dedektörü
F	: Gaz akısı (<i>mmol m⁻² h⁻¹</i>)
FID	: Alev iyonizasyon dedektörü
Fe	: Demir
Fe³⁺	: Demir (+3) iyonu
FT-IR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometri
g	: Gram
IPCC	: Intragovernmental Panel on Climate Change (<i>Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli</i>)

GC	: Gaz kromatografisi
GOSAT	: Greenhouse Gases Observing Satellite (<i>Sera Gazları Gözlem Uydusu</i>)
GPS	: Küresel konumlama sistemi
GWP	: Global Warming Potential (<i>Küresel ısınma potansiyeli</i>)
h	: Saat
h⁻¹	: 1/Saat
H	: Hidrojen atomu
H₂	: Moleküler hidrojen
H₂O	: Su
H⁺	: Hidrojen radikali (proton)
HCO₃⁻	: Bikarbonat iyonu
ha	: Hektar
ha⁻¹	: 1/Hektar
hPa	: HigoPaskal
IC	: İnorganik karbon
IQR	: Çeyreklik aralığı (<i>Interquartile range</i>)
J(C,z)	: Difüzyon oranı (mol cm ⁻² s ⁻¹)
km	: Kilometre
km²	: Kilometrekare
LMS	: Less square mean (<i>En küçük kareler ortalaması</i>)
m	: Metre
m²	: Metrekare
m⁻²	: 1/Metrekare
mg	: Miligram (<i>10⁻³ gram</i>)
mL	: Mililitre (<i>10⁻³ litre</i>)
mm	: Milimetre
MLO	: Mauna Loa Observatory (<i>Mauna Loa Gözlem İstasyonu</i>)
Mmol	: Milimol (<i>10⁻³ mol</i>)
Mn⁴⁺	: Mangan (+4) iyonu
mV	: Milivolt
N	: Azot atomu
N₂	: Moleküler azot
NDIR	: Dispersiv olmayan kızılötesi

NH₂OH	: Hidroksil amin
NH₄⁺	: Amonyum iyonu
NO	: Azot monoksit
NO₂	: Azot dioksit
NO₂⁻	: Nitrit iyonu
N₂H₄	: Hidrazin
N₂O	: Nitröz oksit
NO₃⁻	: Nitrat iyonu
O	: Oksijen atomu
O₂	: Moleküler oksijen
OC	: Organik karbon
P	: Fosfor
Pa	: Paskal
PE	: Polietilen
PO₄³⁻	: Fosfat iyonu
Pg	: Peta gram (10^{15} gram)
POC	: Birincil organik karbon
ppb	: Parts per billion (<i>Milyarda bir</i>)
ppm	: Parts per million (<i>Milyonda bir</i>)
psi	: Pounds per square inch (<i>Pound/inch²</i>)
PVC	: Poliviniliklorür
r	: Korelasyon katsayısı
R	: Evresnel gaz sabiti
RH(%)	: Bağıl nem
RF	: Random Forest (<i>Rastgele Orman</i>)
RMSE	: Kök ortalama kare hata değeri
RP	: Redoks potansiyeli
S	: Kükürt atomu
SD	: Standart sapma
SE	: Standart hata
Sed_{cond}	: Sediman elektriksel iletkenlik değeri
SHASH	: Sinh-arcsinh istatistiksel dağılımı
SHC	: Sediman hidrojen içeriği
SI	: Silt içeriği

s⁻¹	: 1/saniye
sa⁻¹	: 1/saat
SO₄²⁻	: Sülfat iyonu
SOC	: Sediman organik karbon
SOM	: Sediman organik materyali
SPI	: Standardize yağış endeksi
SPI₃	: 3 Aylık standardize yağış endeksi
SPO	: South Pole Observatory (<i>Güney Kutup Gözlem İstasyonu</i>)
SSC	: Sediman kükürt içeriği
SWC(%)	: Sediman nem yüzdesi
T	: Sıcaklık
Tg	: Tera gram (10^{12} gram)
TN_w	: Göl suyu toplam azot derişimi
T_a	: Dış ortam hava sıcaklığı
T_s	: Sediman sıcaklığı
UV/VIS	: Mor ötesi/görünür ışın spektrometrisi
V	: Hacim (m^3 veya litre)
y⁻¹	: 1/Yıl
2D	: İki boyutlu
3D	: Üç boyutlu
μS cm⁻¹	: Mikro Siemens/Santimetre elektriksel iletkenlik
%	: Yüzde simgesi
ΔG	: Gibbs serbest enerjisi
°C	: Santigrat derece

TEŞEKKÜR

Tez çalışması süresince göstermiş olduğu desteği ve rehberliğinden dolayı danışmanım değerli hocam Prof. Dr. Nusret KARAKAYA'ya, istatistik ve modelleme konularında tecrübelerini paylaşan ikinci danışmanım değerli hocam Prof. Dr. Fatih EVRENDİLEK'e, öneri ve desteklerini esirgemeyen Tez İzleme Komitesi üyeleri değerli hocalarım Prof. Dr. Fatma ÖZTÜRK ve Prof. Dr. Sema YURDAKUL'a, jürimde yer alarak beni onurlandıran değerli hocalarım Prof. Dr. Meriç Albay ve Prof. Dr. Alper ELÇİ'ye,

2019.09.02.1424 no'lu proje kapsamında bu tez çalışmasını destekleyen Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi ve 119Y007 no'lu proje kapsamında tez çalışmasını destekleyen TÜBİTAK'a,

1059B141900536 No'lu destekle 2214-A Doktora Sırası Yurt Dışı Araştırma Burs Programı kapsamında doktoramın Şubat-Ağustos 2022 tarihleri arasındaki Katalan Su Araştırmaları Enstitüsü'ndeki (ICRA) araştırmalarımı destekleyen TÜBİTAK-BİDEB'e,

Eşsiz misafirperverlikleri için doktora sırası araştırmam kapsamında araştırmacı olarak bulunduğum ICRA'da danışmanım olan Dr. Rafael MARCE, arkadaşlarım Dr. Nuria CATALAN, Dr. Jorge MONTES PEREZ ve bütün ICRA personeline,

Tez çalışmam boyunca sediman ve su analizlerindeki fedakarca yardımlarının yanında desteği ve pozitif enerjisi için arkadaşım Ceren ERTEMEL'e,

Başta Kadir YILDIZ ve Önder GÜLBELAY olmak üzere tez sürecinde beni her zaman destekleyen Hidrojeoloji ve Limnoloji Laboratuvarı ekibindeki bütün arkadaşlarıma,

Doktora çalışmasına başladığım dönemde hayatıma dahil olan can yoldaşım Tuco ve doktoramın son döneminde evimize katılan Jesse'ye,

Yirmi yıldan uzun zamandır hayatımın her anında benimle birlikte sevinen, üzülen, heyecanlanan can dostlarım Ezgi ÇAMÖZ ve Zeynep KAMAN'a, hayatıma ayrı bir anlam katan Anadolu Üniversitesi Doğa Sporları Kulübü ailesine,

Hayatım boyunca manevi dayanağım olan, bana emeğin ve dürüstlüğün ne demek olduğunu öğreten annem ve babam; Günay ve Ali ERTÜRK'e;

Hayatımın her döneminde benden hiçbir desteği esirgemeyen, moral kaynağım olan abim ve eşi; Alper ve Anıl ERTÜRK'e, ailemizin yeni üyesi umut ışığım, can parcam, sevgi yumağım yiğenim ADA'ya,

Son olarak, sadece tez süresince değil hayatımın her saniyesinde kalbi benle atan, beni benden çok düşünen ve yaşamayı güzel kılan yol arkadaşım Akif Arı'ya,

Sonsuz teşekkürler...

1. GİRİŞ

CO₂ ile birlikte diğer önemli sera gazları olan CH₄ ve N₂O'nun atmosferdeki derişimleri de son yüzyılda önemli derecede artmıştır. Gelecek yüzyılda ise beklenti; doğal ve antropojenik kaynaklardaki meydana gelen değişiklikler neticesinde ilave artışların gerçekleşeceği yönündedir (Hemer vd., 2013). CO₂ salımı doğal kaynaklar dışında önemli oranda antropojenik fosil yakıt tüketimine bağlı iken, CH₄ salımı katı atık deponi sahalarında bulunan metanogen bakterilerinden, geniş getiren hayvanların sindirim sisteminden ve biyokütle yakılmasından oluşabilmektedir (Nicolini vd., 2013). Buna karşın biyosferden salınan N₂O miktarının yaklaşık %70'i ise nitrifikasyon ve denitrifikasyon mekanizmaları neticesinde toprak kaynaklıdır (Mosier vd., 1998). Bu miktara düşük oranda biyokütle yakılması, çeşitli endüstriyel süreçler ve sığır yetiştiriciliği gibi kaynaklarda katkı yapmaktadır.

Çeşitli ekosistemlerden salıverilen sera gazı akılarının arkasındaki güdüleyici güçler nispeten belirlenmiş olmakla birlikte, bu gazlara ait kaynak ve yutakların zamansal ve mekânsal dinamikleri ile ilgili tahminlerde halen önemli belirsizlikler mevcuttur (Nicolini vd., 2013). Küresel sera akılarının hesaplanmasında gözardı edilen ekosistemlerin başında mevsimsel olarak kuruyan göl kıyı sedimanları gelmektedir. Belirli periyotlarla kuruyup tekrar ıslanan tatlı su sedimanlarının karbon mineralizasyonu bakımından kritik noktalar (hotspots) haline geldiği, dolayısıyla bu alanların küresel CO₂ bütçesinin belirlenmesinde hesaba katılması gereken önemli bir faktördür (Gomez-Gener vd., 2015; Reverey vd., 2016; Lesmeister ve Koschorreck, 2017).

Periyodik olarak ıslanıp kuruyan tatlı su ekosistemlerinden kaynaklanan sera gazı akılarının belirlenmesinde kapalı hazne (closed chamber) yöntemi günümüzde en sık başvurulmuş ölçüm yöntemidir (Lesmeister ve Koschorreck, 2017). Sera gazlarının kaynakları; tarım alanları, pirinç tarlaları ve atık depolama alanları gibi beşeri kaynaklı ve/veya orman toprakları, sulak alanlar ve termit yuvaları gibi doğal kaynaklı olabilmektedir. Bu bağlamda bu çalışma kapsamında; iklim değişikliği üzerindeki ölçülebilir katkısını anlamak ve sera gazı akıları ile çevresel değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla kuruyan tatlı su ekosistemlerinin su-kara ara yüzlerindeki (etkileşim bölgelerinden) sera gazı akıları incelenmiştir.

Bu çalışma, ilgili literatürde göl-kara ekotonlarından CO₂, CH₄ ve N₂O akılarının ölçümleri ile ilgili sınırlı çalışmalar göz önüne alınarak, Türkiye'nin beş coğrafi bölgesinden 20 gölün dönemsel olarak kuruyan kıyı sedimanlarından sera gazı akı ölçümleri 2019 ve 2020 yıllarında göl suyu çekilmesinin en yüksek oranda görüldüğü yaz aylarında gerçekleştirilmiştir.

Bu doktora çalışması ile açıklığa kavuşturulmak istenen araştırma soruları aşağıdaki şekilde sıralanmıştır;

1. Doğal tatlısu gölleri için göl-kara ekotonlarından ıslak-kuru sediman değişkenliği boyunca CO₂, CH₄ ve N₂O akıları mekânsal olarak nasıl farklılık göstermektedir?

2. Dönemsel kurumaya bağlı olarak açığa çıkan tatlı su sediman bölgelerindeki CO₂, CH₄ ve N₂O akıları sedimanların ıslak ve kuru değişkenliğinden etkilenmekte midir?

3. Sedimanlardaki CO₂, CH₄ ve N₂O akıları gün içi zamansal farklılıktan etkilenmekte midir?

4. Toprak ve sedimanın fizikokimyasal özelliklerinin, ıslak-kuru göl sediman CO₂, CH₄ ve N₂O akıları üzerindeki nispi etkileri nelerdir? Sediman fizikokimyasal özelliklerin, mekânsal ve zamansal kategorik değişkenlerle birlikte modellenmesi mümkün müdür?

Yukarıda sıralanan araştırma sorularına cevap bulabilmek için gerçekleştirilen çalışmalar aşağıda sunulmuştur:

1. CH₄, CO₂ ve N₂O akılarının ekolojik-bölgesel (coğrafi ve eklimsel) etkenlerinin tespit edilmesi için Türkiye'nin beş coğrafi bölgesinden farklı enlem, boylam ve yükseltide konumlanmış 20 gölün dönemsel olarak kuruma sürecinde olan kıyı sedimanlarındaki akılar belirlenmiştir. Belirlenen akıların mekânsal farklılıkları hipotez testleri ile ortaya konmuştur.

2. Sedimanların kuru bölgelerindeki CH₄, CO₂ ve N₂O akılarının literatürde belirtildiği gibi ıslak bölgelere göre farklı seviyede olup olmadıkları test edilmiştir. Bunun için belirlenen 20 gölün ıslak ve kuru sedimanlardan akı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İki farklı nemlilik karakterine sahip sedimandan elde edilen akı değerleri karşılaştırılarak bu alanların sera gazı yutak veya kaynak potansiyeli bakımından yeri ve önemi ortaya konmuştur.

3. Sedimanlardan kaynaklanan ıslak-kuru CH₄, CO₂ ve N₂O akıları, sabah ve öğleden sonraki örnekleme periyotlarında ölçülmüş, gün içi zamansal dinamikleri belirlenmiştir.

4. Sedimanın fizikokimyasal özelliklerinin ıslak-kuru gradyan, gün içi zaman gradyanı (sabah ve öğleden sonra) ve mekânsal (enlem, boylam ve yükseklik) kategorik değişkenler ile birlikte değerlendirilerek sediman CO₂, CH₄ ve N₂O akıları üzerindeki nispi etkileri açıklanmıştır. Bu sediman fizikokimyasal parametreleri ile sera gazı akıları arasındaki istatistiksel ilişkiler doğrusal olan ve olmayan güdüleyicileri açıklanmıştır. Daha sonra RF ve ANN modelleme yaklaşımı ile bu akıların düşük hata payları ile tahmin edilebilirliği tartışılmıştır. Gelişmiş ANN temelli model yaklaşımı sayesinde sera gazı akıları değişim mekanizmalarını için önemli rol oynayan çevresel, zamansal ve mekânsal etkenler ve bu etkenlerin etkileşimleri önem seviyeleri ile birlikte değerlendirilmiştir.

Tez çalışmasının iş akış diyagramı Şekil 1.1’de verilmiştir



Şekil 1.1. Tez çalışması iş akış diagramı

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Atmosferik CO₂, CH₄ ve N₂O Sera Gazları Derişimleri ve Küresel Isınma Potansiyelleri

CO₂, CH₄ ve N₂O gazları, ısınımsal dengeyi etkileyen sera gazlarının yaklaşık %80'ini oluşturmaktadır (Myhre vd., 2013). 18. yüzyılda sanayi devriminin etkisiyle birlikte artan antropojenik emisyonlar sonucunda küresel atmosferik CO₂, CH₄ ve N₂O derişimleri önemli seviyelere ulaşmıştır (IPCC, 2007). Endüstriyel üretimin hız kazandığı 1750'lerden sonraki dönemden 2010'lu yıllara kadar bu üç önemli sera gazı olan CO₂, CH₄ ve N₂O'nun atmosferik derişimlerinin sırasıyla %40, %150 ve %20 oranında arttığı konusunda pek çok araştırmacı fikir birliği içindedir (Janssens vd., 2000; Hartmann vd., 2013). Bu durum, bu üç sera gazının atmosferik derişimlerinin günümüz itibariyle en azından son 800000 yıllık dönemde hiç olmadığı kadar yüksek bir düzeye yükseldiği anlamına da gelmektedir.

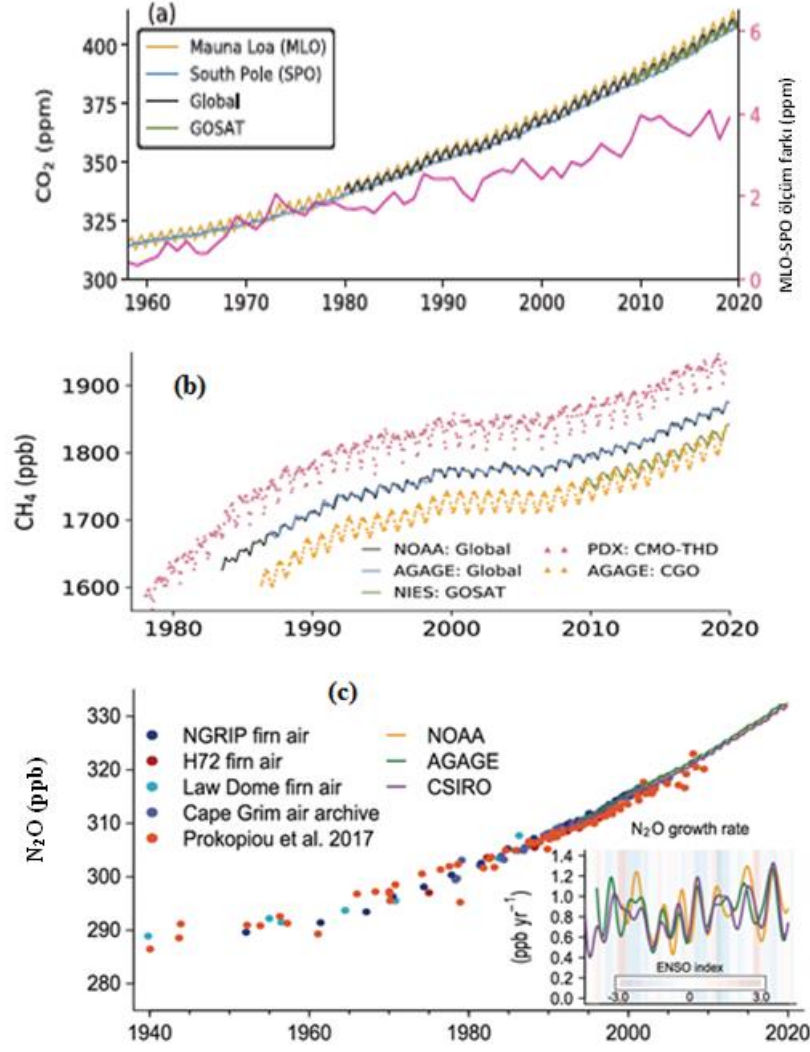
Özellikle atmosferik CO₂ derişimleri 1957 yılından beri Güney Kutup Gözlem (South Pole Observatory-SPO) ve 1959 yılından günümüze Hawaii-ABD'de bulunan Mauna Loa Gözlem (MLO) istasyonlarında kesintisiz olarak izlenmektedir (bkz. Şekil 2.1a). Bu uzun süreli izleme çalışmalarının sonuçlarına göre; 1959 ile 2019 yılları arasında gerçekleştirilen 61 yıllık ölçümlerde yıllık CO₂ artış hızı $1,56 \pm 0,18$ ppm y⁻¹ (ortalama $\pm$ yıllık değerlerin standart sapması) olarak hesaplanmaktadır. Burada şaşırtıcı ve bir o kadar endişe verici olan nokta ise; 1960 - 1969 yılları arasındaki on yıllık dönemde atmosferik CO₂ artış hızı $0,82 \pm 0,29$ ppm y⁻¹ iken, 2010-2019 arası on yıllık dönemde neredeyse üç katına çıkarak $2,39 \pm 0,37$ ppm y⁻¹ seviyesine ulaşmıştır (IPCC, 2021). Böylelikle atmosferik CO₂ derişimleri, sanayi öncesi dönemde 280 ppm değerinde iken 2019 yılı itibari ile 410 ppm değerinin üzerine çıkmıştır (IPCC, 2021). Ayrıca bu iki ana istasyondan alınan karşılaştırmalı veriler, Sera Gazları Gözlem Uydusu (Greenhouse Gases Observing Satellite-GOSAT) tarafından yapılan toplam atmosferik sütun CO₂ yoğunluğu ölçümleri için elde edilen değerle de uyumluluk göstermektedir. Atmosferik CO₂ derişimlerinin artışında insan faaliyetlerinin baskın rolünü kesin olarak ortaya koyan çok sayıda bilimsel kanıt mevcuttur. İlk olarak, MLO ve SPO kayıtları arasındaki farktaki sistematik artış (bkz. Şekil 2.1a), ağırlıklı olarak Kuzey Yarımküre'de yer alan sanayileşmiş bölgelerdeki fosil yakıt yanmasından

kaynaklanan emisyonlardaki artıştan kaynaklanmaktadır (Ciais vd., 2019). İkinci olarak, atmosferdeki kararlı karbon izotopu ($\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$) ölçümleri zaman içinde daha negatif değerler vermektedir. Bunun temel sebebi ise madencilik ile jeolojik depolardan çıkarılan fosil yakıtlardan (başlıca kömür ve petrol) salınan CO_2 'de ^{13}C daha az bulunmaktadır (Rubino vd., 2013; Keeling vd., 2017). Üçüncü olarak, $\text{d}(\text{O}_2/\text{N}_2)$ oranı ölçümleri azalan bir eğilim göstermektedir; çünkü yakılan her bir karbon (C) molekülü için 1,17 ila 1,98 molekül oksijen (O_2) tüketilmektedir (Ishidoya vd., 2012; Keeling ve Manning, 2014). Bu üç kanıt, CO_2 'nin atmosferik artışının oksidatif bir süreçten (yani yanmadan) kaynaklandığını büyük oranda doğrulamaktadır. Bu konuda sunulan dördüncü kanıt ise, dünyanın çeşitli yerlerindeki ölçümü gerçekleştirilen bir diğer karbon izotopu olan $^{14}\text{C}-\text{CO}_2$ ölçümleri neticesinde $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ oranında uzun vadeli bir düşüşün devam ettiği bulgusudur (Levin vd., 2010; Graven vd., 2017; Turnbull vd., 2017). Fosil yakıtlar ^{13}C 'de olduğu gibi ^{14}C 'den de yoksundur ve bu nedenle fosil yakıt kaynaklı CO_2 emisyonları atmosferik $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ oranını düşürmektedir (Suess, 1955).

Atmosferdeki CH_4 , CO_2 ile kıyaslandığında çok daha güçlü bir sera gazı olarak öne çıkmaktadır. Atmosferdeki CH_4 hem doğal kaynaklardan (sulak alanlar, tatlı sular ve jeolojik süreçler), hem de antropojenik kaynaklardan (enterik fermentasyon, gübreler, çöp deponi sahaları, pirinç tarımı ve fosil yakıtlar) salınmakla beraber, kaynak baskınlıkları arasında çeşitli belirsizlikler ve yine lokasyona bağlı atmosferik farklılıklar da mevcuttur (Ghosh vd., 2015). CO_2 'ye benzer şekilde atmosferdeki CH_4 derişimleri de geçtiğimiz iki yüzyıl boyunca, özellikle 1900'lerden sonar büyük olasılıkla antropojenik etkiler sonucu neredeyse iki katına çıkmıştır. Bu bileşenin sanayi devrimi olarak adlandırılan dönemdeki atmosferik derişimi olan 715 ppb iken, 2005 yılındaki atmosferik derişimi 1774 ppb olarak kaydedilmiş, günümüzde ise (2019 yılı ortalaması) ortalama derişim yaklaşık olarak 1988,3 ppb olarak kabul edilmektedir (IPCC, 2021). Atmosferik sürekli CH_4 ölçümlerinin başlangıcı ise CO_2 'den farklı olarak 1970'lerde başlamıştır (Şekil 2.1b). Daha önceki dönemlere ait atmosferik derişimler ise daha ziyade buz kor örnekleri gibi yöntemlerle tahmin edilmektedir. Şekil 2.1b'de görüleceği üzere atmosferik CH_4 derişimleri 1977 ile 1986 yılları arasında en yüksek artış hızı olan $18 \pm 4 \text{ ppb y}^{-1}$ 'a erişmiştir. Bu hızlı artış temel olarak CH_4 emisyonlarında hızlı artışlara neden olan artan bitkisel üretim ve hızlı sanayileşme ile yeşil devrimi takip etmiştir (Ghosh vd., 2015). 1980'lerin başında ortaya çıkan

petrol fiyatlarındaki önemli artışlar ise gaz tüketimini azaltmış, dolayısıyla emisyonlarda bir düşüşe sebep olmuştur. Bu olay ise 1985 ile 1990 yılları arasındaki düşüşün temel sebebi olarak görülmüştür (Chandra vd., 2021). 1991 yılında ise Filipinler'deki Pinatubo volkanının patlaması sonucu saçılan aerosollerin sebep olduğu yüzey sıcaklığı düşüşü neticesinde özellikle sulak alanlardan salınan CH₄ emisyonlarında bir miktar azalma gerçekleşmiştir (Chandra vd., 2021). 1990'ların sonundan 2006 yılına kadar ise emisyonlar sabit bir seyirde devam etmiş, herhangi önemli bir artış veya azalış eğilimi göstermemiş, fakat 2007 itibari ile 7 ± 3 ppb y⁻¹ seviyelerinde bir artış hızına erişmiştir. Bu veriler de CO₂'ye benzer şekilde atmosferik CH₄ kaynak-yutak dengelerinin kaynak yönünde arttığını, yine karbon izotopik oranlarının incelendiği çeşitli çalışmalar ise antropojenik kaynakların özellikle bazı dönemlerde atmosferik derişimlerin artmasında etkili olduğunu söylemektedir (IPCC, 2021).

Atmosferik N₂O kaynaklarının başında organik materyalin nitrifikasyon ve denitrifikasyon gibi birincil süreçlerle remineralizasyonu esnasında oluşan emisyonlar gelmektedir (Voss vd., 2013). Metana benzer şekilde bu bileşenin de atmosferdeki mekânsal mevcudiyeti sıcaklık, oksijen yeterliliği, pH ve daha çok azotlu bileşikler olan amonyum ve nitratın seviyelerine göre önemli değişiklikler gösterebilmektedir. Buna bağlı olarak atmosferdeki N₂O derişimlerinin 2000'li yıllarda 270 ppb ile 319 ppb değerleri aralığında seyrettiği bilinmektedir. Günümüze en yakın sunulmuş IPCC raporuna göre 2019 yılı ortalama atmosferik N₂O derişimi ise $332,1 \pm 0,4$ ppb olarak kabul edilmekte ve bu değer endüstriyel atılım devrimi öncesi ortalama derişimi olan $270,1 \pm 6$ ppb değerine göre yaklaşık %23 daha yüksek seviyededir (IPCC, 2021). Diğer iki sera gazında olduğu gibi N₂O için de yıldan yıla genel olarak bir artış eğilimi mevcuttur (Şekil 2.1c). Bu bileşenin 1995'ten 2019'a kadar olan dönemdeki ortalama yıllık artış hızı $0,85 \pm 0,03$ ppb y⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Bu aralık içerisinde ise 2000-2009 yılları arasındaki dönemde yıllık atmosferik artış hızı genel ortalama artış hızına göre yaklaşık %20 daha yüksek seviyede gerçekleşmiş, 2010 - 2019 arasındaki son on yıllık dönemde ise yine bir miktar artarak $0,95 \pm 0,04$ ppb y⁻¹ seviyesinde gerçekleşmiştir.



Şekil 2.1. Küresel ortalama atmosferik CO₂ (a), CH₄ (b) ve N₂O (c) sera gazlarının zamansal değişimleri

Atmosferik derişimleri CO₂'ye kıyasla görece olarak oldukça düşük olmasına rağmen, CH₄ ve N₂O gazlarının sahip olduğu yüksek ısınımsal zorlama (*radiative forcing*) ve her iki gaz için sırasıyla 12 ve 114 yıl olan uzun atmosferik kalış süreleri sebebiyle bu gazlar da en az CO₂ kadar küresel iklim değişikliği üzerinde önemli bileşenlerdir. Burada sözü edilen ısınımsal zorlama terimi, atmosfere giren güneş radyasyonu ve dünyadan geri yansıtılarak atmosferi terkeden radyasyon bütçeleri arasındaki dengede meydana gelen değişiklik olarak tanımlanmaktadır. Isınım sal zorlamadaki artış, dünya yüzeyinin ısınmasına sebep olurken, azalma ise yeryüzünün normalde olması gerekenden daha fazla soğumasına sebep olmaktadır. Sera gazlarının küresel ısınma potansiyelleri (global warming potential – GWP); sera gazı kütlesinin küresel ısınmaya katkısı olduğu

tahmin edilen, küresel olarak ortalananmış nispi radyasyon etkisini ölçmektedir. Küresel Isınma Potansiyeli, farklı gazların küresel ısınma etkilerinin karşılaştırılmasına olanak sağlamak için geliştirilmiştir. Daha spesifik olarak ise, herhangi bir gazın 1 tonluk kütledeki bir emisyonunun, 1 tonluk kütledeki CO₂ emisyonlarına göre belirli bir zaman zarfında ne kadar enerji absorplayacağını gösteren bir ölçüdür (IPCC, 1995). Bu noktada CH₄ ve N₂O'nun atmosferdeki derişimleri CO₂'nin mevcut derişiminden çok daha az olmasına rağmen, küresel ısınma potansiyellerinin CO₂'ye göre sırasıyla 25 ve 298 kat daha fazla olduğu bilinmektedir (IPCC 2007).

2.2 Küresel CO₂, CH₄ ve N₂O Bütçeleri ve İç Suların Bütçedeki Rolü

Kıta içi suların toplam alanı ($3,54 \times 10^6$ km²) dünya kara yüzey alanının yaklaşık %2,6'sını oluşturmaktadır. İç suların toplam yüzey alanının %0,4'ü ($5,36 \times 10^5$ km²) akarsu ve nehirlere ait iken, geri kalan kısmını ise göller (% 91,3) ve rezervuarlar (% 8,7) oluşturmaktadır (Raymond vd., 2013). Bu farklı yapıdaki iç su kütleleri arasında göllerden 23,7 Tg CH₄ y⁻¹, rezervuarlardan 0,53 Tg CH₄ y⁻¹ ve yine toplam olarak göllerden ve rezervuarlardan 80 Tg CO₂ y⁻¹ salındığı çeşitli çalışmalar ile gösterilmiştir (Bastwiken vd., 2004 & 2011; Liu vd., 2020). Raymond vd. (2013), akarsulardan ve nehirlerden 1,8 (1,5 – 2,1) Pg C y⁻¹ ve göllerden ve rezervuarlardan 0,32 (0,06 – 0,84) Pg C y⁻¹ küresel CO₂ çıkışını olduğunu tahmin etmiştir. Li vd. (2018a) ise Çin'deki göller ve rezervuarlardan CO₂, CH₄ ve N₂O toplamı olarak 134,7 ila 215,3 Tg y⁻¹ aralığında CO₂ eşdeğeri sera gazı salındığını yayınlamışlardır. Bununla birlikte, kıta içi suların kıyılarından salınan CO₂, N₂O ve CH₄ akıların miktarının doldurulmasındaki boşluklar hala çok önem arz etmektedir. Bu boşluklar, küresel biyojeokimyasal değişimin daha iyi anlaşılması ve küresel C ve N bütçe dengesizliklerini kapatmak açısından bilinmezlikler içeren bir konu olmaya devam etmektedir.

Sedimanlardan salınan atmosferik CO₂, CH₄ ve N₂O gazları küresel iklim değişikliğine önemli ölçüde etki etmektedir. Bu sebeple sera gazı emisyonlarının, özellikle de CO₂, CH₄ ve N₂O emisyonlarının belirlenmesi ve modellenmesi, iklim değişikliğinin karasal ekosistem süreçleri ve sera gazı emisyonları üzerindeki etkilerini anlamak için yeni bir çerçeve oluşturmaktadır (Liu vd., 2017). Sulak alanlar dünyanın en büyük doğal CH₄ kaynaklarından biri olarak tanımlanmaktadır (Liu vd., 2016). Doğal bitki örtüsü altındaki toprakların ise küresel N₂O

emisyollarının %37'sinden sorumlu olduğu bilinmektedir (Ciais vd., 2013). Antropojenik CO₂ emisyonları önemli ölçüde (~%68) fosil yakıt yakılması ve çimento üretimi gibi faaliyetlerinden kaynaklanırken, bir kısmı da (~%32) topraktaki mikrobiyel faaliyetler sonucunda oluşmaktadır (Ciais vd., 2013). CO₂, CH₄ ve N₂O gazlarının küresel döngülerinde ise sulak alanlar önemli bir role sahiptir. Bu sera gazları, topraktaki biyolojik aktiviteler sonucunda oluşurken bir yandan da topraktaki mikroorganizmalar tarafından tüketilmektedirler. Sulak alan topraklarından salınan sera gazı akılarının araştırılması küresel sera gazı kütle denkliliklerinin daha doğru kurulabilmesi bakımından oldukça önemli bir ihtiyaçtır.

CO₂ gazının atmosferdeki antropojenik kaynakları genel olarak fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan katkılar ve arazi kullanımı veya arazi yönetimindeki değişiklikler neticesinde ortaya çıkan net emisyonlar olmak üzere iki grupta incelenebilir. Özellikle fosil yakıt kaynaklı emisyonlar endüstriyel atılım döneminden günümüze küresel ekonomik krizler veya sosyal düzensizlikler (savaşlar) gibi küçük kesintilerin dışında sürekli olarak artmıştır. Son 10 yıllık zaman diliminde fosil kaynaklı CO₂ emisyonları ortalama $9,6 \pm 0,5 \text{ PgC y}^{-1}$ seviyesine ulaşarak, bütün antropojenik emisyonların yaklaşık %86'sına tekabül eden bir seviyededir (Friedlingstein vd., 2020). Arazi kullanımı değişiklikleri neticesinde gerçekleşen emisyonlar da fosil yakıt emisyonlarına benzer bir eğilim göstermiştir. Aynı on yıllık dönem (2010-2019) için arazi kullanımı değişikliklerine bağlı CO₂ emisyonları toplamda $1,6 \pm 0,7 \text{ PgC y}^{-1}$ seviyelerinde hesaplanmıştır (Friedlingstein vd., 2020).

Deniz ve okyanuslar ise çoğunlukla atmosferik CO₂ derişimine de bağlı olmak üzere yutak fonksiyonu göstermektedir. Deniz ve okyanuslar tarafından depolanan CO₂ depolanma hızı 1960-1969 yılları arasındaki onyılda $1,0 \pm 0,3 \text{ PgC y}^{-1}$ iken, 2010-2019 arası onyılda bu depolanma hızı da atmosferdeki artan derişime bağlı olarak $2,5 \pm 0,6 \text{ PgC y}^{-1}$ değerine ulaşmıştır. Bununla birlikte, 1800'lü yıllardan günümüze birikimli okyanus CO₂ depolaması olan $105 \pm 20 \text{ PgC}$ değeri, $450 \pm 50 \text{ PgC}$ olan toplam antropojenik salınım değerinin sadece %23'üne tekabül etmektedir (Friedlingstein vd., 2020). Yine farklı bir çalışmaya göre 1800-2007 yılları arasında okyanuslar tarafından depolanan toplam birikimli CO₂ kütlesi $140 \pm 18 \text{ PgC}$, ve 1994 - 2007 arasında depolanan net miktar ise $29 \pm 4 \text{ PgC}$ 'dur. Bu değerler de bir öncekine benzer şekilde, aynı periyotta atmosfere salınan toplam antropojenik CO₂'nin yaklaşık %26'sına karşılık gelmektedir (Gruber vd., 2019).

CO₂ bileşeni için yapılan uzun süreli kütle denklikleri ise belirli zaman dilimlerinde üretilen, çevresel kompartmanlarda tutulan ve/veya atmosferde biriken miktarlarını göstermeleri itibari ile önemlidirler. Örneğin; küresel hesaplamaların yapıldığı son on yıllık dönemde (2010-2019) $10,9 \pm 0,9$ PgC y⁻¹ eşdeğeri CO₂ antropojenik kaynaklardan salınmış; bunun %46'lık kısmı ($5,1 \pm 0,02$ PgC y⁻¹) atmosferde birikmiş, %23'ü ($2,5 \pm 0,6$ PgC y⁻¹) okyanuslar ve %31'i ($3,4 \pm 0,9$ PgC y⁻¹) karasal ekosistemlerdeki bitki örtüsü tarafından tutulmuştur. Bununla birlikte bu son küresel kütle denkliğinde yaklaşık 0,1 PgC y⁻¹ belirsizliklerden kaynaklı dengesizlik bulunmaktadır. 1750 yılından 2019 yılına kadar olan dönemde ise fosil yakıtlar ve endüstriden toplam 445 ± 20 PgC ile arazi kullanımı değişiklikleri neticesinde oluşan 240 ± 70 PgC eşdeğeri CO₂ salındığı tahmin edilmektedir. Bu iki ana kaynağın toplam (685 ± 75 PgC) çevresel kompartmanlar arasında dağıtıldığında; 285 ± 5 PgC'lık bir kütle atmosferde biriktiği, 170 ± 20 PgC deniz ve okyanuslarca, ve 230 ± 60 PgC eşdeğerinin karasal ekosistemlerce tutulduğu tahmin edilmektedir. Bu uzun süreli kütle denkligi neticesinde ortaya çıkan bütçe dengesizliği ise yaklaşık 20 PgC seviyesindedir (IPCC, 2021). Bu dengesizliğin en önemli belirsizliklerinde birisi ise tatlı su kütleleri ve kıyı bölgelerindeki karbon kütle akış denkliklerinin yüksek doğrulukta belirlenememesidir. Karbonun karasal ekosistemlerden tatlı su ekosistemlerine doğal ve antropojenik transferi ($2,4 - 5,1$ PgC y⁻¹) bu noktada önemli bir paydaya sahiptir (Regnier vd., 2013; Drake vd., 2018). Tatlı su kütlelerine ulaşan karbonun belirli bir miktarının depolandığı ($0,15$ PgC y⁻¹) (Mendonça vd., 2017), fakat önemli bir bölümünün ise gaz formunda atmosfere gittiği bilinmektedir (Raymond vd., 2013; Regnier vd., 2013; Lauerwald vd., 2015).

CH₄ bileşeninin atmosferdeki antropojenik kaynakları arasında yine fosil yakıt tüketimi ve madenciliği önemli bir yer tutmaktadır. Kömür madenciliği sırasında salınan emisyonlar, bütün fosil yakıt kaynaklı CH₄ emisyonları içerisinde %35'lik bir payla ilk sırada gelmekte ve yıllık olarak 106 - 115 Tg emisyon oluşturmaktadır (IPCC, 2021). Küresel CH₄ emisyonları içerisinde toplam fosil yakıt madenciliği katkısı ise %30 olarak hesaplanmıştır (Hmiel vd., 2020). Tarım ve atık yönetimi ise en az fosil yakıt madenciliği kadar önemli diğer antropojenik CH₄ kaynakları olarak öne çıkmaktadır. Bu iki sektör özelinde canlı hayvan yetiştiriciliğinden kaynaklı emisyonlar 2008 – 2017 arasındaki on yıllık dönemde 109 Tg y⁻¹ seviyesine yükselmiş, ve bunun yaklaşık %90'lık bir bölümü çiftlik

hayvanlarının enterik fermentasyonu neticesinde oluşmuştur (Zhang vd., 2022). Aynı zaman diliminde atık deponi sahalarından kaynaklanan ortalama CH_4 emisyonu ise 64 Tg y^{-1} olarak hesaplanmıştır. Bir diğer antropojenik emisyon kaynağı olan tarımsal uygulamalar arasında pirinç yetiştiriciliği ise 31 Tg y^{-1} seviyesinde hesaplanmıştır (Crippa vd., 2020). Antropojenik kaynaklar arasında en düşük payda (%5) ise biyokütle yakılması olarak görülmüş ve yaklaşık 30 Tg y^{-1} seviyelerinde hesaplanmıştır (Worden vd., 2017).

Deniz ve okyanuslar atmosferdeki CH_4 derişimlerinin şekillenmesinde de önemli belirleyici çevresel kompartmanlardır. Bununla birlikte, bu çevresel ortamlardan kaynaklanan emisyonlar hakkında gerçekleştirilmiş çalışmaların sayısı diğer ortamlara göre daha az sayıdadır. Sauniois vd. (2020), okyanuslardan kaynaklanan CH_4 'ü biyojenik, jeolojik ve hidrat emisyonlarının toplamı olarak $6 (4 - 10) \text{ Tg y}^{-1}$ olarak hesaplamıştır. Bu hesaplamalara diğer denizsel ekosistemler de dahil edildiği durumlarda ise (fiyördler, haliçler, sığ kıyı sahaları, denizsel tuzlu sulak alanlar) toplam emisyonlar $33 - 75 \text{ Tg y}^{-1}$ seviyelerine ulaşmaktadır (IPCC, 2021).

Tatlı su sulak alanları ise CH_4 bileşeninin bilinen en büyük karasal kaynağıdır. Küresel toplam CH_4 emisyonlarının %26'sından sorumlu olan bu sulak alanlar, tündengelim ve tümevarım yöntemleriyle yapılan farklı hesaplamalara göre sırasıyla 149 ve 180 Tg y^{-1} seviyelerinde katkı yapmaktadır (Poulter vd., 2017). Bunun yanında sulak alan ormanlarında yaprak ve gövdede abiyotik CH_4 oluşumu ile köklerde metanojenesis ve toprakta mikrobiyolojik üretim gerçekleşse de, bunlar küresel emisyonlar içerisinde minör kaynaklar olarak değerlendirilmektedir (Covey ve Megonigal, 2019). Topraktaki mikrobiyal CH_4 alımı ise toplam giderim mekanizmasının yaklaşık %5'ini (30 Tg y^{-1}) oluşturmaktadır (Yu vd., 2017). Buna karşın termitler tarafından yaklaşık 9 Tg y^{-1} CH_4 atmosfere salınmaktadır (Brune, 2018).

IPCC tarafından yayınlanan son rapora göre küresel CH_4 bileşeninin atmosferdeki yutakları; stratosferik giderim ($12 - 37 \text{ Tg}$), troposferde klorür iyonu tarafından giderim ($1 - 35 \text{ Tg}$) ve troposferik hidroksit radikali tarafından giderim ($483 - 682 \text{ Tg}$) ile karasal ekosistemlerdeki yutakları; toprakta oksidasyonla giderim ($11 - 49 \text{ Tg}$) olarak değişen aralıklarla yayınlanmıştır. Bununla birlikte atmosferdeki mevcut derişimi şekillendiren kaynaklar olarak karasal ekosistemlerden jeolojik kaynaklar ($18 - 65 \text{ Tg}$) ve termitler ($3 - 15 \text{ Tg}$),

antropojenik kaynaklardan biyokütle yakılması (22 – 39 Tg), fosil yakıtlar (114 – 116 Tg), atık depolama (55 – 77 Tg), pirinç tarımı (25 – 37 Tg) ve canlı hayvan yetiştiriciliği (106 – 115 Tg), ve sucul doğal kaynaklardan tatlı su kütleleri (117 – 212 Tg), sulak alanlar (102 – 182 Tg) ve deniz-okyanuslardan (4 – 10 Tg) olmak üzere ortalama $19 \pm 8 \text{ Tg y}^{-1}$ civarında bir ortalama yutak-kaynak dengesizliği sonucu artış hesaplanmıştır (IPCC, 2021).

Küresel iklim değişikliği hadisesinde önemli bir bileşen olan atmosferik N_2O derişimleri ise doğadaki azot döngüsünün sentetik gübre kullanımı, fosil yakıt yakılması ve çeşitli diğer tarımsal faaliyetler gibi antropojenik faktörlerce bozulması neticesinde diğer sera gazlarına benzer şekilde artmaktadır. Dolayısıyla tarımsal uygulamalar (sentetik ve hayvan gübresi kullanımı, peyzaj çalışmaları ve su ürünleri üretimi) bu bileşenin atmosferdeki en önemli antropojenik kaynağını oluşturmakta, bunun sonucu olarak da $2,5 - 5,8 \text{ TgN y}^{-1}$ eşdeğeri N_2O atmosfere salınmaktadır (Tian vd., 2020). N_2O 'nun tarımsal uygulamalar haricindeki diğer önemli antropojenik kaynakları ise başta kimyasal endüstrileri (nitrik ve adipik asit üretimi), atıksu arıtma süreçleri (azot giderimi) ve yine fosil yakıt yakılmasıdır. Endüstriyel süreçlerden salınan toplam eşdeğer N_2O kütlesi $0,35 \text{ TgN y}^{-1}$ seviyesindedir (Janssens-Maenhout vd., 2019). Bir diğer önemli antropojenik N_2O kaynağı olarak ise anız yakma ve evsel ısınma amaçlı biyokütle yakılmasıdır. Bu işlem neticesinde salınan emisyon eşdeğeri $0,6 \text{ TgN y}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır (Tian vd., 2020).

N_2O 'nun doğal kaynakları arasında ise deniz ve okyanuslar önemli yer tutar. Okyanus biyojeokimyasal modelleri yardımıyla hesaplanan ortalama atmosferik akı yaklaşık $3,4 \text{ TgN y}^{-1}$ 'dir (Babbin vd., 2015). Burada gözönüne alınması gereken önemli nokta ise; oksik okyanus suyunda (okyanus su hacminin yaklaşık %97'den fazlası) N_2O üretimini gerçekleştiren temel sürecin nitrifikasyon, sub-oksik okyanus sularında ise öne çıkan sürecin denitrifikasyon olduğudur (Freing vd., 2012; Babbin vd., 2015). N_2O bileşenin atmosferdeki en önemli kaynağı ise tarım dışı topraklardan salınan emisyonlardır. Gelişmiş süreç temelli küresel modeller kullanılarak yapılan hesaplamalara göre bu bölgelerden salınan net emisyonlar $5,3 - 8,1 \text{ TgN y}^{-1}$ seviyelerindedir (Tian vd., 2020).

Yukarıda farklı çevresel kompartmanlar için açıklanan atmosferik N_2O kütle denklikleri ile tümevarım yoluyla yapılan hesaplamalar neticesinde küresel emisyonların $12,2 - 23,5 \text{ TgN y}^{-1}$ arasında değişerek ortalama 17 TgN y^{-1}

seviyesinde olduğu varsayılmaktadır (Tian vd., 2020; IPCC, 2021). Bu alanda gerçekleştirilmiş çok sayıda bilimsel çalışma sonucu bu toplam küresel emisyonun yaklaşık %40'ının antropojenik kaynaklardan salındığı bilinmektedir (IPCC, 2021).

2.3. Kuruyan Tatlısu Sedimanlarında CO₂, CH₄ ve N₂O Sera Gazları

Kıta içi tatlı su kütleleri (akarsular, göller, havuzlar ve rezervuarlar) ise toplam Dünya yüzölçümünün %3'ünden daha az bir alan kaplamaları sebebiyle bölgesel ölçeklerde değerlendirilmişler ve küresel kütle denkliklerinde günümüze kadar çoğunlukla ihmal edilmişlerdir (Pekel vd., 2016). Bununla birlikte, son birkaç on yılda, araştırmacılar iç suların küresel karbon döngüsünü düzenlemedeki kilit rolünü (Cole vd., 2007; Tranvik vd., 2018) ve iklim değişikliğinin etkilerini azaltma stratejilerinde dikkate alınması gerektiğini ortaya koymuştur (Battin vd., 2009).

Kıta içi sular ve onları çevreleyen ekosistemler, tarımsal sulama için su çekilmesi, arazi kullanımı ve toprak örtüsü değişiklikleri, iklim değişikliği, hava, toprak ve su kirliliği gibi artan insan kaynaklı faaliyetler sebebiyle olumsuz yönde etkilenmektedir (Keeling vd., 1995; Kaye vd., 2006; Kim vd., 2007; Yang ve Lu, 2014; Obrador vd., 2018; Marce vd., 2019). Birçok göl, kuraklıklar ve aşırı su çekimleri nedeniyle periyodik veya kalıcı kurumaya maruz kalmaktadır (Obrador vd., 2018; Arce vd., 2019; Marce vd., 2019). Tarımsal üretim için artan arazi talebinin bir sonucu olarak Avrupa'da doğal sulak alanların yaklaşık %80'i yok olmuştur (Verhoeven, 2014). Küresel olarak, su kütlelerinin 9×10^4 km²'den fazlası kalıcı olarak yok olurken, yaklaşık 8×10^5 km² kıta içi tatlı su yüzeyleri mevsimsel olarak kurumaktadır (Pekel vd., 2016). İç kıyı şeridi sedimanlarının insan kaynaklı ve/veya doğal olarak kuruyup atmosferik oksijene maruz kaldığında sediman organik maddesinin mineralizasyonu nedeniyle sera gazı emisyonları için sıcak noktalar haline gelebilmektedir (Obrador vd., 2018; Marce vd., 2019). Tatlı su ekosistemlerinin sera gazı akılarını ölçmeye yönelik önemli küresel çabalara rağmen, kuruyan kıyı şeritleri küresel envanterlerde genellikle göz ardı edilmektedir (Catalan vd., 2014; Gomez-Gener vd., 2015).

Kıta içi tatlı su ekosistemleri yukarıda da belirtildiği gibi her ne kadar toplam küresel yüzölçümünün oldukça küçük bir yüzdesini oluşturuyor olsalar da, gerçekte bu ekosistemlerden atmosfere salınan toplam eşdeğer karbon akısı yaklaşık 1,5 PgC y⁻¹ seviyelerindedir. Bu değer ise Dünya yüzey alanının çok büyük bir bölümünü oluşturan deniz ve okyanuslar tarafından atmosferden tutulan toplam

karbon kütlesi olan $-1,9 \text{ PgC y}^{-1}$ değerine oldukça yakındır (Raymond vd., 2013). Bu durum tatlı su ekosistemlerinin karasal ekosistemlerden $1,9 \text{ PgC y}^{-1}$ kütlesinde karbonu alarak, deniz ve okyanus ekosistemlerine transfer ettiği şeklinde özetlenebilir (Cole vd., 2007). Bununla birlikte, Cole vd. (2007) ve Tranvik vd. (2018) vurguladığı gibi, bu ekosistemler sadece karbonu karasal ekosistemlerden deniz ve okyanuslara taşıyan kapalı iletim hatları değildir. Küresel döngüdeki asıl önemleri, iç suların adeta bir biyoreaktör gibi çalışması ve taşınan karbonu aynı zamanda işleyerek aktif olarak katkıda bulunması gerçeğine dayanmaktadır.

Kıta içi tatlısu ekosistemleri karbonu karasal ekosistemlerden almalarının yanında, aynı zamanda yerinde birincil üretim yoluyla da üretmektedirler. Bu karbon girdisinin dönüşüm, depolanma, yayılma ve okyanuslara taşınma gibi farklı çevresel senaryoları vardır (Cole vd., 2007; Tranvik vd., 2018). İç sular tarafından alınan karbonun yaklaşık yarısı doğrudan okyanuslara transfer edilirken, diğer yarısı ise dönüştürülerek CO_2 ve CH_4 formlarında atmosfere salınmakta veya çökelme vasıtasıyla (göller, rezervuarlar, taşkın yatakları, vb.) sedimanlara depolanmaktadır. Bu, iç sular için küresel karbon döngüsünde ekolojik, hidrolojik ve fizyografik yapıya bağlı olarak bir net karbon kaynağı veya yutağı olarak davranabileceği iki yönlü bir rol tanımlamaktadır.

Bu önemli emisyon akışları nedeniyle, son yıllarda hem CO_2 (Battin vd., 2009; Tranvik vd., 2009) hem de CH_4 (Bastviken vd., 2008; Tranvik vd., 2009) olarak tatlı su sistemlerinden atmosfere emisyonların küresel karbon döngüsündeki önemi vurgulanmıştır. Aslında, tatlı su ekosistemlerinden kaynaklanan emisyonların, bir zamanlar kıtasal artık karbon yutağı olarak adlandırılan alanı potansiyel olarak dengeleyebileceği düşünülmektedir (Bastviken vd., 2011). Dolayısıyla, tatlı su sistemleri atmosfere net bir karbon kaynağıdır. Öte yandan, iç suların önemli bir karbon yutağı olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir (Dean ve Gorham, 1998). Ayrıca, göller ve rezervuarlar insan kaynaklı CO_2 emisyonunun dengelenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Einsele vd., 2001). Göllerin ve rezervuarların bir karbon yutağı olarak kabul edilmesinin başlıca nedeni, büyük miktarlarda karbonu dip sedimanlarında biriktirmeleridir. Bu nedenle, genel olarak bu ekosistemler atmosfere önemli miktarda karbon salarken, aynı zamanda önemli miktarda karbonun birikmesinden de sorumludurlar ve dolayısıyla bu küresel biyojeokimyasal döngüde kilit bir rol oynarlar. Bu karbonun akıbeti ise (gömülme ve mineralizasyon) birçok çevresel koşuldan etkilenmektedir (Sobek vd., 2011).

Akarsular, nehirler, göletler, göller ve rezervuarlar da dahil olmak üzere dünyanın iç sularının büyük bir kısmı belirsiz zamanlarda, düzenli tekrarlayan ve hatta sürekli olarak su azalması veya çekilmesine bağlı olarak kurumaya maruz kalmaktadır. Dahası, iklim değişikliği, su çekimi ve arazi kullanımının değiştirilmesi nedeniyle dünyanın birçok bölgesinde bu kuruma olaylarının oluşumu ve yoğunluğu artmaktadır. Günümüzde halen kuru iç su sedimanlarından sera gazlarının atmosfere akışları hakkında tatmin edici düzeyde bilgi mevcut değildir, kıta içi tatlı sulardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarına ilişkin mevcut küresel hesaplamalar, bu alanların kuru oldukları zamanki emisyon kütlelerini dikkate almamaktadır (Gomez-Gener vd., 2016). Bu da aralıklı olarak kuruyan iç sular da dahil olmak üzere tüm sera gazı emisyonlarının kapsamlı şekilde küresel kütle denge hesaplarında doğru hanelerde kullanılmasını engellemektedir (Marce vd., 2019).

Marce vd. (2019), iç suların kurumasından kaynaklanan CO₂ ve CH₄ akıları hakkındaki bilgi boşluklarının acil olarak doldurulması ihtiyacını vurgulamış ve atmosferik CO₂ derişimlerine bu bölgelerin katkılarını 0,222 Pg C y⁻¹ olarak tahmin etmiştir. Küçük tatlı su havuzlarının (pond) mevsimsel olarak kuruyan sedimanlarının beklenenden daha fazla CO₂ saldığı farklı çalışmalarda raporlanmıştır (Holgerson ve Raymond, 2016; Obrador vd., 2018). Altı kıtadaki 196 sulak alandan yapılan güncel bir meta-analiz ise iç sulardan kaynaklanan kuru sediman CO₂ emisyonlarının tahmini küresel C bütçesini %0,4 ila %10 oranında artıracağını göstermiştir (Keller vd., 2020).

Deshmukh vd., (2018) gerçekleştirdikleri benzer bir çalışmada Laos'ta bulunan Mekong nehri üzerine kurulu Nam Theun 2 rezervuarında su yüzeyi ve sedimandan olmak üzere havzadan atmosfere salınan CO₂ akılarının ölçümü gerçekleştirilmiştir. Gerek sudan, gerekse sedimandan atmosfere salınmakta olan CO₂'nin oluşmasındaki en etkili parametrelerden birisi olan mevcut çözünmüş ve askıda toplam karbon miktarlarının akılarla olan ilişkilerinin incelendiği çalışmada, ayrıca su numunelerindeki pH, çözünmüş oksijen ve CO₂ derişimleri de incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre havzadan gerçekleşen toplam CO₂ emisyonunun yaklaşık %50'sinin en sıcak döneme denk gelen, yağışlı ve kurak dönemler arasındaki 3-4 aylık süreçte oluştuğu, bu durumun ise yıllık toplam emisyon hesaplamalarının farklı dönemlerde yapılması neticesinde oldukça farklı sayısal değerlere rastlanabileceği bulgusunu ortaya çıkartmıştır. Yine toplam

emisyounun %40 ile %75 arasında değişen miktarlarda kurak dönemde gerçekleşmiş olması, toprak organik materyalinin anaerobik bozunma neticesinde rezervuarı CO₂ emisyonuyla beslemesi sonucunu ortaya koymuştur.

Akarsu havzalarından atmosfere önemli miktarda CO₂ salınımı olduğu bilinmektedir. Bu akının başlıca kaynağı ise, su içerisinde çözünmüş halde bulunan CO₂'nin akarsu akış hareketinden kaynaklanan türbülans neticesinde çözünmüş fazdan atmosfere uuculaşmasıdır (Butman ve Raymond, 2011). Akarsulardaki mevcut znmüş CO₂, toprak znmüş CO₂, asidifikasyon, karbonat içeren minerallerin çökelmesi ve akarsu bitki örtüsünün kök solunumu neticesinde zenginleşmektedir. Boodoo vd., (2017) yayınladıkları çalışmada; akarsu havzalarında atmosfere salınan toplam CO₂ akılarının hesaplanmasında önemli belirsizliklerden bir tanesinin, akarsu yatağı boyunca biriken toprak-çakıl yığınlarından (gravel bars) kaynaklandığını ne sürmüştür. Su ve atmosfer arasında büyük oranda kısmi basınç-çözünürlük dengesi neticesinde gerçekleşen gaz transferinin yanında, biyokimyasal tepkimelerin gerçekleşmesi için oldukça uygun bir çevresel ortam olan birikinti bölgelerinin önemli oranda gaz akısından sorumlu olabileceği fikri zerine ABD'de bulunan çeşitli akarsu havzalarında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; su yüzeyinden atmosfere gerçekleşen CO₂ akısının ortalama sayısal değeri 20 mgC m⁻²sa⁻¹ seviyelerinde hesaplanırken, birikinti bölgelerinden kaynaklanan akının 30 mgC m⁻²sa⁻¹ değerinin üzerinde olduğu görülmüştür. Bu bulgular neticesinde akarsu koridorlarında oluşan birikinti bölgelerinin atmosferik CO₂ dengesi üzerinde önemli bir katkısı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yukarıda bahsedildiği üzere, çoğu zaman sera gazlarına çeşitli kaynaklardan gerçekleşen küresel katkılarının hesaplanmasında akarsu havzalarından, özellikle de su yüzeyinden kaynaklanan toplam küresel katkılar hesaplanmakta, fakat bu tatlı su havzalarının kuruduğu dönemlerdeki değişen akılar hesaba katılmamaktadır. Bu eksikliğe dikkat çekmek adına, Gomez-Gener vd. (2015 & 2016) İber yarımadasının kuzey doğu bölümünde yer alan Fluvia nehrinin yaz mevsiminde kuruyan 10 farklı kolunda, kuru dönemlerdeki sedimandan atmosfere CO₂ akılarının belirlemiştir. Kuru zamanlarda sedimandan atmosfere gerçekleşen akıların ne denli artabileceğini ortaya koymak için ise aynı noktalarda akarsuyun faal olduğu dönemlerde de ölçümler gerçekleştirerek, kuru ve ıslak dönemler arasındaki akı farklarını tartışmışlardır. Ölçülen akılar üzerinde etkisi olan toprak-sediman

karakteristiklerinin de incelendiği çalışmanın sonuçlarına göre; kuruyan bölgelerdeki sedimandan atmosfere olan CO₂ akılarının ıslak dönemdekini yaklaşık 2 katı ve ortalama olarak 781±390 mmol m⁻²d⁻¹ seviyelerinde olduğu ortaya çıkmıştır. Çalışma kapsamında akarsu havzasını çevreleyen kuru toprak alanlardan gerçekleştirilen ölçümler neticesinde ise CO₂ akıları ortalama 896±263 mmol m⁻²d⁻¹ seviyelerinde ölçülmüştür. Jeomorfolojik olarak oldukça farklı yapıda olan topraklar ile kuruyan akarsu havza sedimanlarında ölçülen CO₂ akılarının karşılaştırılabilir seviyelerde olması, küresel akıların hesaplanmasında akarsu havzalarının biyokimyasal mekanizmalarının değişmesi sebebiyle kuru ve ıslak dönemler olmak üzere iki ayrı bakışla değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır (Gomez-Gener vd., 2015 & 2016).

Yukarıda örnekler verilen, mevsimsel olarak kuruyabilen akarsu havzalarının benzeri biyokimyasal mekanizmalar tatlı su göl ve göletleri gibi diğer ekosistemler için de benzer özellikler göstermektedir. Büyük oranda akarsulardan beslenen tatlı su gölleri de mevsimsel olarak suyla kaplı alanları azalabilmekte, hatta zaman zaman kuruyabilmektedirler. Göl suyla kaplı alanının geri çekilmesi ise yine kuru sediman tabakasının açığa çıkmasına sebep olmaktadır. Gilbert vd. (2017), İngiltere’de yaklaşık 20 yıl boyunca sulak olarak korunan 26 deneysel yapay tatlı su birikintisinde gerçekleştirdikleri çalışmada, 20 yılın ardından göletlerin suyunun kurumasını izleyen 2 haftalık periyodu takiben çeşitli ölçümler gerçekleştirmiştir. Su yüzeyleri ve sedimandan kaynaklanan CO₂ akılarının belirlenmesinde kapalı statik hazne yöntemi ve Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometrisi (FT-IR) kullanılmıştır. Akıların belirlenmesi ise ıslak dönemde su yüzeyinden, geçiş dönemi olarak tanımlanan ve oldukça ıslak çamurun gözlemlendiği yeni-kuruma döneminde ve sedimanın tamamen kurumuş olduğu kuru dönemlerde sediman üzerinden gerçekleştirilmiştir. CO₂ akıları karşılaştırıldığında; ıslak dönemlerde akıların yaklaşık -2000 mg m⁻²d⁻¹ seviyelerine ulaşabilen bir negatif akıyla yutak davranışı gösterirken, geçiş döneminde 4000 mg m⁻²d⁻¹ ve kuru zamanda 10000 mg m⁻²d⁻¹’e varan pozitif akılar neticesinde kaynak olarak davrandıkları belirtilmiştir. Sediman jeolojik karakteristiklerinin incelenmediği, sadece mevcut bitki örtüsünün akılarla ilişkisinin incelendiği çalışmada, değişen bitki örtüsünün ölçülen akılar üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı da bir başka sonuç olarak görülmüştür.

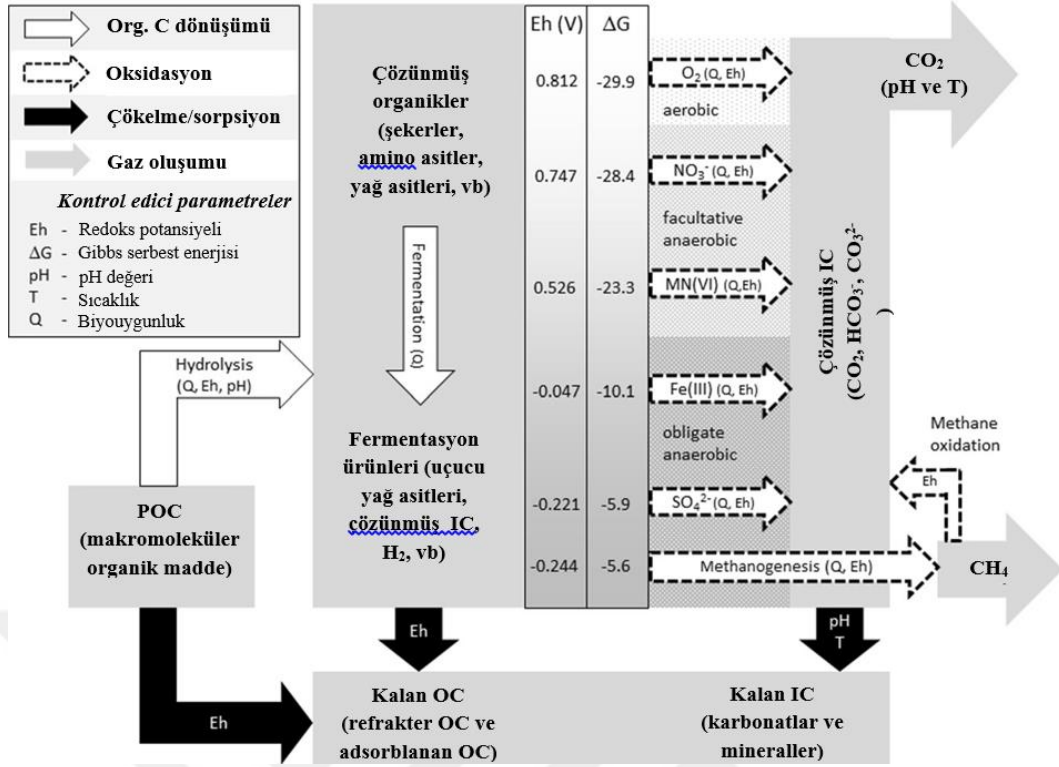
CO₂ gazı küresel ısınma hadisesinde başlıca tartışılan bileşen olmakla birlikte, iklim değişikliği üzerinde önemli etkileri olan CH₄ ve N₂O gazları da önemli birer araştırma konusudur. Bu kapsamda yukarıda özetlenen çalışmalara benzer yaklaşımlarla bu iki önemli bileşenin de net atmosferik akılarının belirlendiği çalışmalar mevcuttur. Yayınlanan çeşitli deneysel çalışmaların sonuçlarına göre dönemsel olarak kuruyan akarsu sedimanları atmosferik CH₄ için de önemli bir kaynaktır. Koschorreck (2000) tarafından yayınlanan bir çalışma kapsamında Brezilya'da yer alan Merchantaria adasındaki zaman zaman taşkın suları neticesinde göletlerin oluştuğu, kuru mevsimlerde ise sediman tabakasının hava ile temas ettiği bir bölgede CH₄ akılarının ölçümü gerçekleştirilmiştir. Akı ölçümlerinde sediman tabakası üzerine yerleştirilen bir hazneden belirli aralıklarla gaz örneklerinin toplanarak CH₄ derişimlerinin belirlenmesi ve akıların hesaplanması yöntemi kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen başlıca sonuç ise, Amazon nehri taşkın havzasının yıllık olarak 1 - 9 TgCH₄ y⁻¹ olarak hesaplanan akısında 0,4 TgCH₄ y⁻¹ seviyesinde bir katkının kuruyan sulak alanlardan kaynaklandığının hesaplanmasıdır. Sagarra vd. (2013) ise Georgia, ABD'de yer alan bir bölgede dalga hareketleri sonucu oluşan bir sediman setinde CH₄ akılarını belirlemiştir. Akıların ölçüldüğü sediman birikintilerinin genel karakteristikleri; silt ve kilden oluşan bir morfolojik yapı, %5 organik karbon yüzdesi ve yüzeyin yaklaşık 3 mm altında anaerobik koşulların oluştuğu yönündedir (mikroelektrot probu gerçekleştirilen ölçümler neticesinde). Bitki örtüsü bakımından oldukça kısıtlı olan bölgedeki yıllık ortalama CH₄ akıları 10 molCH₄ y⁻¹ seviyelerinde, ve küresel hesaplamalara göre sulak alanlar için hesaplanan akı değerlerinin yaklaşık 2 ile 4 katı üzerinde belirlenmiştir. Kaye vd. (2004), Amerika Birleşik Devletleri-Colorado eyaletinde gerçekleştirdikleri benzer çalışmada kentsel ve kırsal bölge topraklarından kaynaklanan N₂O ve CH₄ akılarını incelemiştir. Çalışma kapsamında kentsel bölgedeki bir çimenlikten, doğal bir çimenlik step, nadasa bırakılmış bir kuru buğday ekim alanı ve taşkın suları ile sulanan bir mısır tarlasında kapalı hazne tekniği ile gaz akılarının ölçümünü bir yıllık bir periyotta gerçekleştirilmiştir. Araştırılan toprakların tamamının negatif net akıları sebebiyle atmosferik CH₄ için birer yutak davranışı gösterdiği görülmüştür. N₂O akıları ise topraktan atmosfere kentsel bölgede 0.24 gN m⁻² yıl⁻¹ ve mısır tarlasından 0,20 gN m⁻² yıl⁻¹ olarak belirlenmiştir. Step ve buğday tarlasından belirlenen net N₂O akıları ise bu değerlerin yaklaşık 10'da 1'i mertebesinde düşük olarak ölçülmüştür.

Yukarıdaki tüm özetlenen çalışmalar, CO₂ ve CH₄ akılarıyla karşılaştırıldığında, kuruyan tatlı su habitatlarından salınan N₂O akı ölçümlerinin görece kıtlığına işaret etmektedir. Yerinde ölçümün zorluğu ve pahalılığı, yerinde ölçüm cihazlarının düşük seviyeli akılar için algılama problemlerine sahip oluşu gibi sebepler bu bilgi boşluğunun artması ile sonuçlanmıştır.

2.3 Sedimanlarda CH₄, CO₂ ve N₂O Akılarının Oluşum Mekanizmaları

Sedimanlardan CH₄ emisyon oranları, CH₄ üretim potansiyeline ve oksidasyon potansiyeline bağlı olarak değişmektedir. Topraktaki ve sedimanlardaki CH₄ üretimi sürecine, matanojenik bakteriler, metanotrofik bakteriler ve amonyak oksitleyen bakteriler olmak üzere üç farklı bakteri grubu katılmaktadır. CH₄ üretimi ve oksidasyon oranları, topraktaki kullanılabilir substrat ve oksijen ile rekabetçi alternatif elektron alıcılarının mevcudiyeti ile yakından ilişkilendirilmektedir (Sundh vd., 1994).

Kompleks organik polimerler, hidrolitik mikroorganizmaların (hidroliz yapan) gerçekleştirdiği hidroliz fermentasyonu ile monomerik (tek bir polipeptit zincirinden oluşan) bileşiklere dönüşmektedir (Garcia vd., 2000). Daha sonra, monomer yapıdaki bileşiklerin asidojenez (biyolojik olarak asit üretimi) süreçleri ile hidrojen, asetat (CH₃COOH), CO₂, kısa zincirli yağ asitleri ve alkol bileşikleri oluşmaktadır (Le Mer ve Roger, 2001). Yağ asitleri ve alkoller, CO₂ ve asetata çevrilirken, protonlar (H⁺) da hidrojen gazına (H₂) çevrilmektedir. Homoasetojenler aynı zamanda monomerlerin bir kısmını kullanarak doğrudan asetat da üretebilmektedir. Aşağıda Şekil 2.2’de organik maddenin CO₂ ve CH₄’e dönüşüm mekanizmaları özetlenmiştir:



Şekil 2.2. Tatlısu sedimanlarında karbon döngüsünü belirleyen ana süreçlerin kavramsal tasviri ve kontrol eden parametreler (Reverey vd., 2016)

Metanojenler anaerobik organizmalardır ve CH₄ emisyonlarına önemli derecede katkı sunmaktadırlar. Bu bakterilerin çalışmasında sulak topraktaki ve sedimandaki redoks potansiyeli oldukça önemli iken, 200 mV'tan daha yüksek Eh potansiyeline (redoks potansiyeli) sahip ortamlarda fonksiyonlarını yitirdikleri bilinmektedir. Metanojenler, büyük moleküllü polimerleri doğrudan kullanamazlarken fermentatif, hidrolitik ve hidrojen üreten asetojenik bakterilerin ürünlerinden faydalanabilmektedirler (Capone ve Kiene, 1988). H₂, CO₂ ve asetat ürünlerinin kullanıldığı metanogenez tepkimeleri sonucunda CH₄ üretimi iki farklı yoldan gerçekleşmektedir:



Metan üretimi süreçlerinin yanında üretilen CH₄'ün bir kısmı aerobik katmanda metanotroflar tarafından tüketilmektedir. Bu süreçte CH₄ önce metanol, sonrasında formaldehite ve son olarak da CO₂'ye dönüştürülmektedir. Toprakta ve sedimanda CH₄ oksidasyonu iki şekilde gerçekleşmektedir. Yüksek afinite oksidasyonu olarak bilinen ilk süreç sedimandaki CH₄ derişiminin atmosferdeki

derişime yakın olduğu düşük derişimlerde (<12 ppm) meydana gelirken (Le Mer ve Roger, 2001) diğeri süreç sediman CH₄ derişiminin 40 ppm'den yüksek olduğu durumlarda oluşmaktadır (King vd., 1990; Jones ve Nedwell, 1993).

Sulak alanlarda, metanotroflar aerobik toprak/sediman tabakalarında, aerobik bitki rizosferinde (kök-toprak yüzeyi bölgesi) ve köklerinde gelişmektedirler (Gilbert ve Frenzel, 1995; Bosse ve Frenzel, 1997). CH₄ gazı ise metanotroflar için tek C ve enerji kaynağıyken, oksijenin aerobik CH₄ oksidasyonu üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Bununla birlikte, anaerobik sediman katmanlarında da CH₄ oksidasyonu gerçekleşebilmektedir. Sülfatı indirgeyen bakterilerin sülfat, nitrit ve demirleri CH₄'ten CO₂'ye oksitleyebildikleri bu süreçte sülfat bağımlı CH₄ oksidasyonu da denmektedir (Caldwell vd., 2008; Thauer ve Shima, 2008).

Toprak ve sedimandan CH₄ gazı ise atmosfere difüzyon ve bitki yolu taşınım olmak üzere iki temel yolla salınmaktadır. Çözünmüş gazın kısmi basıncı hidrostatik basınçtan daha yüksek olduğu durumlarda gaz kabarcıklarının oluşturmakta, oluşan gaz kabarcıkları sulak alandaki gözenek duvarına yapışmakta; daha büyük boyutlara ulaşan kabarcıklar ise sedimanlarda doygunluk basıncına ulaşmaktadır (Kellner vd., 2006). Sulak alandaki bazı bitkiler ise anaerobik toprak/sediman katmanlarından salınan CH₄'ü *aerenchyma* dokularının (yaprak ve dallardaki süngersi dokular) kanal görevi görmesi sonucu direkt olarak atmosfere salılabilmektedirler (Joabsson ve Christensen, 2001). Yüksek derişimden düşük derişime gaz taşınımı olarak bilinen difüzyon sürecinde CH₄ gazı Fick yasası gereğince taşınmaktadır:

$$J(C,z) = -D \times dC / Dz$$

Burada J(C,z): CH₄ difüzyon oranı (mol cm⁻² s⁻¹)

D: sabit (cm² s⁻¹)

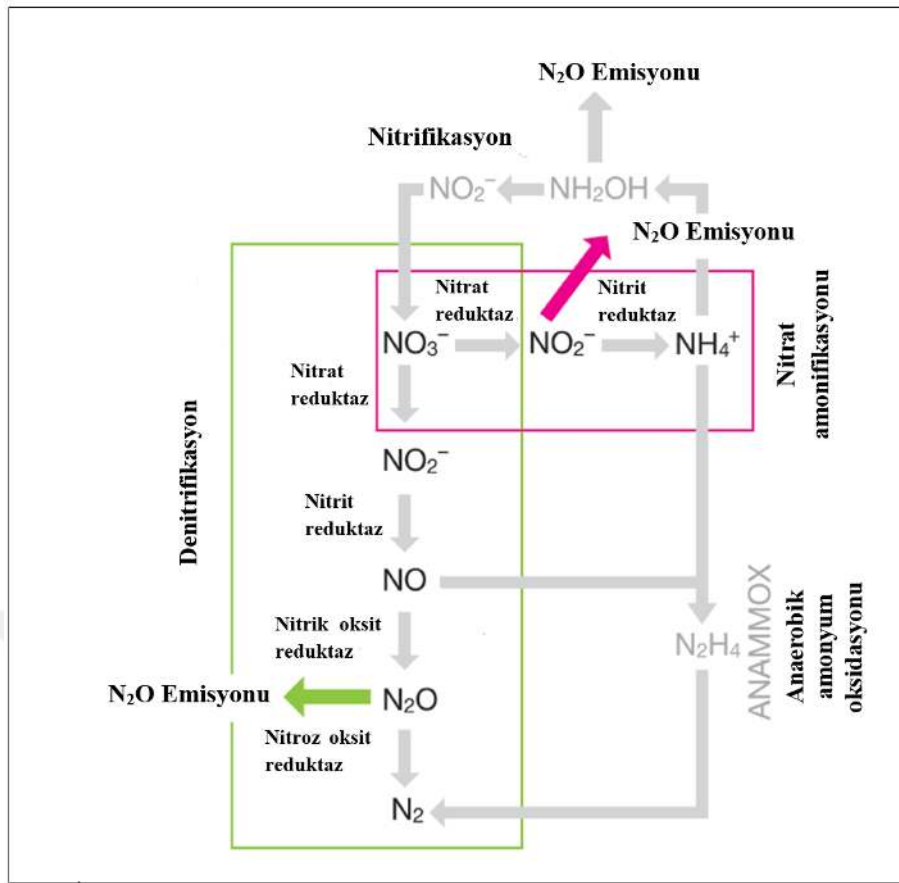
C: CH₄ derişimi (mol cm⁻³)

z: Toprak/sediman derinliği (cm) kavramlarını simgelemektedir.

Sediman parsellerindeki N₂O'nun biyogenik üretimi, öncelikle nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçlerinden kaynaklanmaktadır. Nitrifikasyon, amonyumun nitrata aerobik mikrobiyal oksidasyonu şeklinde tanımlanırken, denitrifikasyon ise

nitratın azot gazına anaerobik mikrobiyel indirgenmesi olarak tanımlanmaktadır. N_2O ara ürünü her iki mikrobiyal sürecin tepkime dizilerinde topraktan atmosfere salınmaktadır (Firestone ve Davidson, 1989).

Nitrifikasyon aerobik koşullarda gerçekleşen bir süreç olmakla birlikte, oksijenin yetersiz olduğu durumlarda nitrifikasyon bakterileri elektron alıcısı olarak nitrit bileşiğini kullanıp NO ve N_2O 'ya indirgeyebilmektedir (Bollmann ve Conrad, 1998). Mikrobiyal denitrifikasyon ve nitratın amonyuma indirgenmesi süreçleri, toprakta nitrat (NO_3^-) kaybindan ve kuvvetli bir sera gazı olan N_2O üretiminden sorumlu olan iki önemli nitrat indirgeme mekanizmasıdır. Sediman O_2 derişimleri ve nem içeriği, N, C, pH ve süreçlerden sorumlu nitrat indirgeyici organizmaların boyutu ve topluluk yapısı dahil olmak üzere bu süreçleri kontrol eden çok sayıda faktör olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, sedimanların havalanmasının kısıtlı olduğu nemli koşullarda N_2O emisyonları genellikle denitrifikasyon süreçlerinden kaynaklanmaktadır. Sedimanlarda nitrifikasyon ve denitrifikasyon işlemlerini kontrol eden birçok faktör bulunmaktadır. Su içeriği oksijen kaynağını belirlerken nitrat ve amonyum derişimleri tepkimelerin gerçekleşmesi üzerinde etkili olmaktadır. Ortamdaki organizmaların ise tepkime hızlarının optimal olduğu belirli bir sıcaklık aralığı bulunmaktadır. Nitrat veya NH_4^+ derişimi ile substratlar tepkime hızlarını ayrı ayrı düzenleyebilir ve denitrifikasyon durumunda NO_2/N_2 oranını düzenler. Mevcut organik karbon, organik karbonun solunumu sırasında denitrifikasyonda oksijen kaynağını düzenleyebilir. Bu faktörlerin dışında pH aralığı da hem nitrifikasyon hem de denitrifikasyon hızları ve denitrifikasyonda NO_2/N_2 oranı kontrol eder (Firestone ve Davidson, 1989). Süreç aşağıdaki Şekil 2.3'te basitçe ifade edilebilir.



Şekil 2.3. Sediman ve toprakta nitroz oksit oluşum mekanizmaları (Giles vd., 2012)

2.4 Sera Gazlarının Oluşum Süreçlerine Etkiyen Çevresel Parametreler

2.4.1 Toprak/Sediman Sıcaklığı

Toprak/sediman sıcaklığı, sera gazı emisyonları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Sulak alan topraklarında gerçekleştirilen birçok çalışmada sıcaklık ile toprak CO₂, CH₄ ve N₂O emisyonları ilişkilendirilmektedir (Le Mer ve Roger, 2001; Oertel vd., 2016). Toprak sıcaklığının artmasıyla birlikte sedimanda metanojenik ve metanotrofik bakteriyel aktivite artmaktadır. Yüksek sıcaklık, mikroorganizma metabolizmasını hızlandırıp toprak solunumunu ve dolayısı ile sera gazlarının üretilmesini tetiklemektedir. Sıcaklığın artmasıyla topraktaki organik madde bozunması artmakta; sera gazlarının oluşumuna sebep olan mikroorganizmalar için gerekli substrat sağlanmış olmaktadır. Toprak sıcaklığının artmasıyla artan toprak solunum hızları ile topraktaki O₂ derişimi azalırken toprak CH₄ ve N₂O emisyonları artmaktadır. Toprak nemi ve toprak sıcaklığı

parametrelerinin, topraktan NO ve N₂O emisyonların varyasyonlarının sırasıyla %74 ve %86'sını açıklayabildiği Schindlbacher vd., (2004) tarafından hesaplanmıştır.

2.4.2 Sediman Nemi

Sediman nem içeriği, mikrobiyal aktiviteyi ve ilgili tüm süreçleri kontrol ettiği için, oldukça önemli bir parametredir. Nitrifikasyon bakterileri için toprak/sediman gözeneklerinde bulunan oksijen önemli bir bileşendir. Daha az su dolu gözenek alanı olan sedimanlarda, nitrifikasyon kaynaklı emisyonların daha fazla olduğu görülmüş, bunun da %20 su dolu gözenek boşluğu oranında en yüksek seviyede olduğu belirtilmiştir (Ludwig vd., 2001). Öte yandan, CH₄ ve N₂O üreten bakteriler anaerobik koşullara gereksinim duymaktadır. N₂O üretimi, toprak/sediman gözeneklerinin yaklaşık %60'ının su ile dolu olduğu koşullarda optimum iken, bu değer %30'un altına düştüğünde ise en düşük değerde ölçülmüştür (Gao et al., 2014). Gözeneklerin su doluluk oranının %80'in üzerine ulaştığı durumda ise, N₂O emisyonlarının katlanarak arttığı vurgulanmıştır (Keller ve Reiners, 1994). CH₄ üretiminin tamamen anaerobik koşullarda oluştuğu ve nem içeriğiyle pozitif korelasyon gösterdiği bilinmektedir (Gao vd., 2014; Smith vd., 2018).

2.4.3 Organik Madde ve Besin Maddesi İçeriği

Sedimandaki mevcut besin maddesi miktarı, mikrobiyal ve bitki solunum süreçleri için oldukça önemlidir. Bu sebeple sedimandaki N ve C içeriğinin belirlenmesi, sera gazı akıllarının araştırılmasında önemli yer tutmaktadır. Tatlısu sedimanlarında, organik karbonun mikrobiyal bozunması ve CO₂'ye mineralizasyonu büyük ölçüde miktarı ve kimyasal kalitesi, yani biyolojik olarak bozunabilir veya dirençli olup olmadığı ile ilişkilidir (Attermeyer vd., 2014). Heterotrofik mikrobiyal aktivite, kararsız organik bileşiklerin ve genel elektron alıcılarının mekânsal birlikteliği ile daha da hızlanır, dolayısıyla redoks potansiyeli bir diğer önemli kontrol edici faktör olarak düşünülebilir (Thullner vd., 2007). Diğer mikroorganizmalarla substrat rekabeti nedeniyle, anaerobik metanojenler en çok düşük redoks potansiyelinde dahi aktiftir (Klüber ve Conrad, 1998), ancak aerobik koşullar altında bile metan üretilebileceğine dair kanıtlar mevcuttur (Althoff vd., 2014).

Doğal toprak ve sediman içeriğindeki N, P ve C derişimlerinin yanı sıra atmosferik çökeltme ve tarımsal amaçlı gübreleme işlemleri de besin miktarını

arttırmaktadır. Pilegaard vd., (2006), gerçekleştirdiği çalışmada N_2O emisyonlarının C/N oranı ile ters orantılı olduğu görülmüştür. Aynı çalışmada, N_2O emisyonlarının C/N oranı 30 ve üzerinde olduğu durumda en düşük değerde olduğu gözlemlenmiştir. N_2O oluşumu için optimum C/N değeri ise benzer bir çalışmada 11 olarak tespit edilmiştir (Gundersen vd., 2012). CO_2 ve CH_4 emisyonlarının ise C/N oranı ile pozitif korelasyon gösterdiği belirtilmektedir (Weslien vd., 2009). Bununla birlikte Fe^{3+} , Mn^{4+} , SO_4^{2-} ve NO_3^- gibi diğer elektron kaynaklarının mevcudiyetine bağlı olarak, CH_4 emisyonlarının değişiklik gösterdiği vurgulanmaktadır (Achtnich vd., 1995; Sahrawat, 2004; Dalal ve Allen, 2008; Fumoto vd., 2008; Kögel-Knabner vd., 2010).

2.4.4 pH Aralığı

Mikrobiyal aktivite toprak veya sediman pH'ından önemli şekilde etkilenmektedir. Kireçleme gibi toprak ıslahı uygulamaları toprak kaynaklı sera gazı emisyonlarını artırmakta ve toprağa eklenen karbonat CO_2 olarak salınabilmektedir (Snyder vd., 2009). Bu bağlamda asidik topraklardan daha az sera gazı emisyonlarının oluştuğu bilinmektedir. Metanogenez (CH_4 üretimi) süreci için en uygun pH değerinin 4 - 7 aralığı olduğu bilinmektedir (Dalal ve Allen, 2008). Valentine vd. (1994) kuzey bataklıklarında yaptığı çalışmada, toprak pH değerinin 7'den 5,5 seviyesine düşmesiyle CH_4 emisyonlarının önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. CO_2 emisyonlarının ise en yüksek seviyeye çıktığı pH değerinin nötral seviyelerde oluştuğu gözlemlenmiştir (Cuhel vd., 2010). Bununla birlikte N_2O emisyonları asidik koşullarında azalmaktadır. Nitrifikasyon hızı, yüksek pH değerlerinde artarken NH_3 ve NO_3 arasındaki denge amonyum tarafına kaymaktadır (Nugroho vd., 2007). Bununla birlikte, NO ve N_2O emisyonları ile pH değeri arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır (Pilegaard vd. 2006). NO emisyonları, asidik koşullarında denitrifikasyon yoluyla gerçekleşirken, alkali koşullarda da nitrifikasyon süreçleri ile NO üretilmektedir (Remde ve Conrad, 1991).

2.4.5 Toprak/Sediman Dokusu

Japonya'daki 132 pirinç tarlası topraklarında yapılan araştırmada, *gley* topraklarından salınan CH_4 emisyonlarının diğer toprak türlerinden daha yüksek derişimlerde olduğunu gözlemlenmiştir. Öte yandan Senegal'de pirinç tarla topraklarında yapılan araştırmada kil miktarı ile CH_4 emisyonlarının negatif korelasyon göstermiştir (Le Mer ve Roger, 2001). Metanojenik potansiyel ile pirinç tarlası topraklarındaki kil miktarı arasında da negatif bir korelasyon gözlenmiştir

(Garcia vd., 2000). Kil içeriğinden çok, kilin yapısı CH_4 emisyonunu etkilemektedir. Bazı kil türleri organik madde mineralizasyonuna mücadele etmemekte, bunun bir sonucu olarak da metanogenez sürecinin yavaşlamaktadır (Oades, 1988). Şişen killer bakımından zengin toprak ve sedimanlar genellikle metanojenez için ıslandıktan sonra yoğunluğun arttığı kumlu, siltli ve kaolinli ortamlara göre daha uygundur (Neue vd., 1990). Tayland topraklarında yapılan arazi çalışmalarında, kaolinit bakımından zengin toprakta pirinç samanı ayrışmasının daha yavaş olduğunu göstermiştir (Neue vd., 1990). Buna karşın Hindistan'daki pirinç tarlalarında gerçekleştirilen bir çalışmanın sonuçlarına göre inceptisol topraklarda ($8 - 21 \text{ g m}^{-2}$) şişen vertisol topraklara ($1.5-11 \text{ g m}^{-2}$) göre daha yüksek oranda CH_4 emisyonu gerçekleştiği kaydedilmiştir (Singh vd., 1997).

Yüksek bir kil içeriği ise sedimanda CH_4 kabarcıklarının tutulmasını destekleyebilir ve emisyonu azaltır (Sass vd., 1994). Filipinler'de, üç mahsul döngüsü sırasında CH_4 emisyonu üretimi, kireçli kumlu bir siltte, kil toprağından daha yüksek bulunmuştur (Denier van der Gon vd., 1996). Kalkerli topraklarda, CH_4 üretimi karbonatların tamponlama etkisi ile kısmen uyarılmaktadır (Neue vd., 1994). Teksas'taki kumlu topraklara ekili pirinç tarlalarında, kum içeriği (%18,8'den %32,5'e kadar değişen) ve ürün sezonundaki ortalama CH_4 emisyonu ($15,1$ ile $36,3 \text{ g m}^{-2}$ arasında) arasında pozitif bir korelasyon gözlenmiştir (Sass vd., 1994). Farklı dokulu model topraklarda yüksek miktarda negatif yüzey yükünün hem oksik, hem de anoksik koşullarda CH_4 üretimini artırdığını göstermiştir. Bataklık topraklarında CH_4 üretim hızlarının $\text{kum} < \text{çakıl} < \text{killi} = \text{silt} < \text{kil}$ sırasıyla arttığı gözlenmiştir. Lokal mikroflora, toprak parçacıklarının (kil, silt, organik madde) absorptif karakteri ile kombinasyon halinde, ıslak topraklardaki metanojenik aktiviteyi arttırmıştır (Wagner vd., 1999).

2.4.6 Redoks Potansiyeli

Kuruma veya su çekilmesi aşamasından önce doğal olarak su altında olan sedimanlarda redoks rejimi önemli şekilde değişebilmektedir. Atmosfere maruz kalan sediman ve topraklardaki redoks potansiyeli, örneğin göl kıyısındaki sulak alanlarda olduğu gibi, genellikle suyla kaplı olanlardan daha yüksektir. Bunun en önemli sebebi ise, daha önce su altında kalan sedimanlar atmosfere maruz kaldığında yüzeyden oksijen girişindeki önemli artıştır. Oksijen girişi ise sedimanların elektron alım kapasitesini yeniler ve artırır (Reverey vd., 2016). Bu oksidasyon kapasitesinin birer sonucu olarak Akatsuka ve Mitamura (2011) sulak

alanlarda ve taşkın yatağı sistemlerinde artan nitrifikasyonla nitratın arttığını, De Groot ve Van Wijck (1993) tatlısu bataklık topraklarında indirgenmiş demir bileşiklerinin ferrik duruma oksitlendiğini, Dowrick vd. (2006) indirgenmiş sülfür bileşiklerinin sulak alanlarda sülfata oksitlendiğini, ve Lau vd. (2015) turbalık sedimanlarında indirgenmiş organik maddenin yeniden oksitlenerek bir elektron alıcısı olarak hareket ettiğini bildirmiştir. Besin maddelerinin mevcudiyetindeki herhangi bir artış ise birincil üretimi arttırmakta ve bu da heterotrofik mikroflora için daha fazla substrat sağlamaktadır. Organik maddenin mikrobiyal ayrışması ise gaz üretimine sebep olmakta ve organik maddeden besinlerin salınımını sağlamaktadır (Jeppesen vd., 1990). Mikrobiyal oksijen tüketimi sedimanlardaki redoks potansiyelini düşürerek diğer bir çok elemental birlikte Fe-bağlı inorganik fosfor salınımına neden olur (Liikanen vd., 2002). Besin maddelerinin sedimanlardan salınması ise sedimanlarda gaz üretimini daha da hızlandırmaktadır.

2.5 Toprak ve Sedimanlardan Sera Gazı Emisyonu Ölçüm Yöntemleri

2.5.1 Kapalı Hazne Sistemleri

Kullanım şekline bakılmaksızın yönetilen (tarım alanları, vb) veya yönetilmeyen (doğal toprak veya sediman parselleri) ekosistemlerde toprak ve atmosfer arasındaki sera gazı akışlarının ölçülmesi, iklim değişikliğinin biyojeokimyasal etkenlerinin anlaşılması ve arazi yönetimi uygulamalarının modülasyonuna dayalı sera gazı azaltma stratejilerinin geliştirilmesi ve değerlendirilmesi için kritik öneme sahiptir. Burada bahsedilen kapalı hazne tabanlı örnekleme yaklaşımları, toprak yüzeyinden yayılan gazların bir odacık içinde hapsedilmesine ve sonrasında gaz kromatografisi veya portatif gaz analizörleri ile analiz için düzenli aralıklarla oda tepe boşluğundan numune toplanmasına dayanmaktadır. Kapalı hazne sistemleri (closed-chamber systems), CO₂, CH₄ ve N₂O toprak akışlarının ölçümlerinde en yaygın olarak kullanılan ölçüm yöntemlerinden biridir. Bu yöntem, başka bir ek sensöre ihtiyaç duyulmaksızın, aynı zamanda farklı noktalarda uzun süreli ölçümlere ve istenilen tekrarlı denemelere izin verir (Nay vd., 1994; Yim vd., 2002).

Kapalı Statik Hazne Sistemleri: Son zamanlarda gaz kromatografisi ile kapalı statik hazne metodu, toprak gaz akışı belirleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (bkz. Şekil 2.4). Bu yaklaşımda gaz numuneleri düzenli aralıklarla kapalı hazne içerisinden vakumlu gaz numune kaplarına şırınga yardımıyla

toplanmaktadır. Numune kaplarına alınan gaz örnekleri uygun koşullarda saklanmakta ve 48 saat içinde gaz kromatografisi ile analiz edilmektedir. Statik hazne odacıklarının ucuz ve taşınabilir olmaları sebebiyle bu yöntem sıklıkla tercih edilmektedir. Bu metodun uygulamasında, örneklerin laboratuvar ortamına taşınmasında kullanılan tüplerin sızdırmazlığına dikkat edilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte manuel gaz toplama ve analiz esnasındaki enjeksiyon işlemlerinde yöntem rastgele hatalara bir miktar açıktır. Bir diğer kısıtlama ise, gaz kromatografisi sistemlerinin pahalı sistemler olması ve kullanımının belirli derecede bir uzmanlık gerektirmesidir.

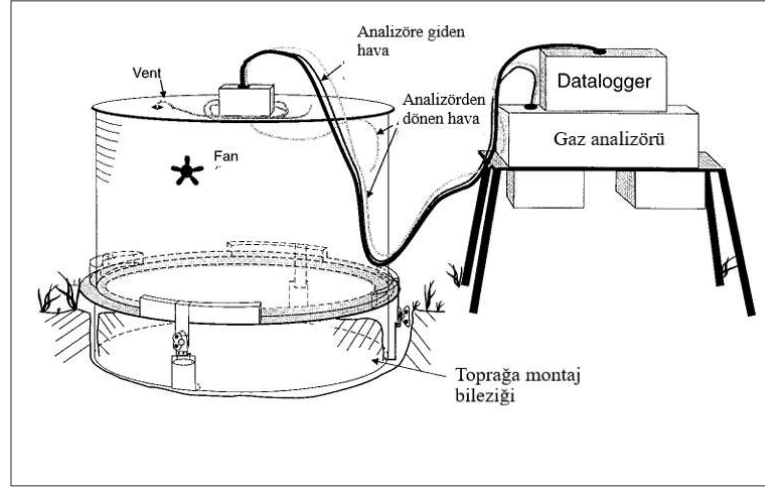


Şekil 2.4. Yüzeyden gaz örneklemesinde kullanılan örnek bir statik hazne (Kahmark vd., 2020)

Bu yaklaşımda kapalı statik hazne içerisindeki gaz derişiminin zaman içindeki değışimi akıyı hesaplamak için kullanılır (Collier vd., 2014). Bu yöntem, CO₂, CH₄ ve N₂O'nun lokasyon bazlı akısını ölçmek ve uygulamalar arasındaki farklılıkları tahmin etmek veya mevsimler veya yıllar boyunca sistem dinamiklerini araştırmak için kullanılabilir. Altyapı gereksinimleri mütevazıdır, ancak kapsamlı bir deneysel tasarım şarttır. Bu yöntem sahada kolayca uygulanabilir ve büyük ölçekli sera gazı emisyonu çalışmalarına uygun veriler üretir (Sander ve Wassmann, 2014).

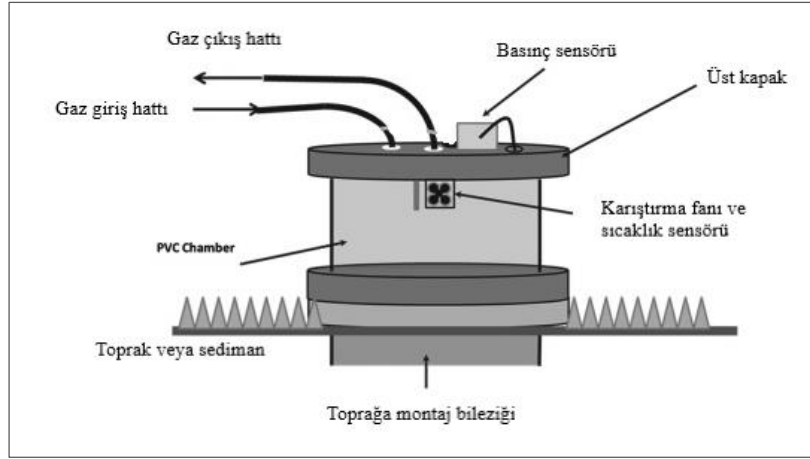
Kapalı Dinamik Hazne Sistemleri: Kapalı dinamik hazne (bkz. Şekil 2.5) sistemlerinde gaz odacıklarında oluşan gaz pompa yardımı ile harici NDIR-sensör (non-dispersive infrared sensörler) sistemi ile anlık olarak ölçülmektedir (Rochette vd., 1997; Oertel vd., 2016). Statik kapalı hazne yöntemine göre daha az tercih edilen bu yaklaşımın temel dayanağı, havanın hazneden bir gaz analizörüne

dolaştırılıp ve hazneye geri gönderilmesi şeklinde devirdaim ettirilmesi. Toprak solunumu, CO₂ derişiminin artış hızı kullanılarak hesaplanır.



Şekil 2.5. Açık dinamik hazne örnekleme sistemi (Rochette vd., 1997)

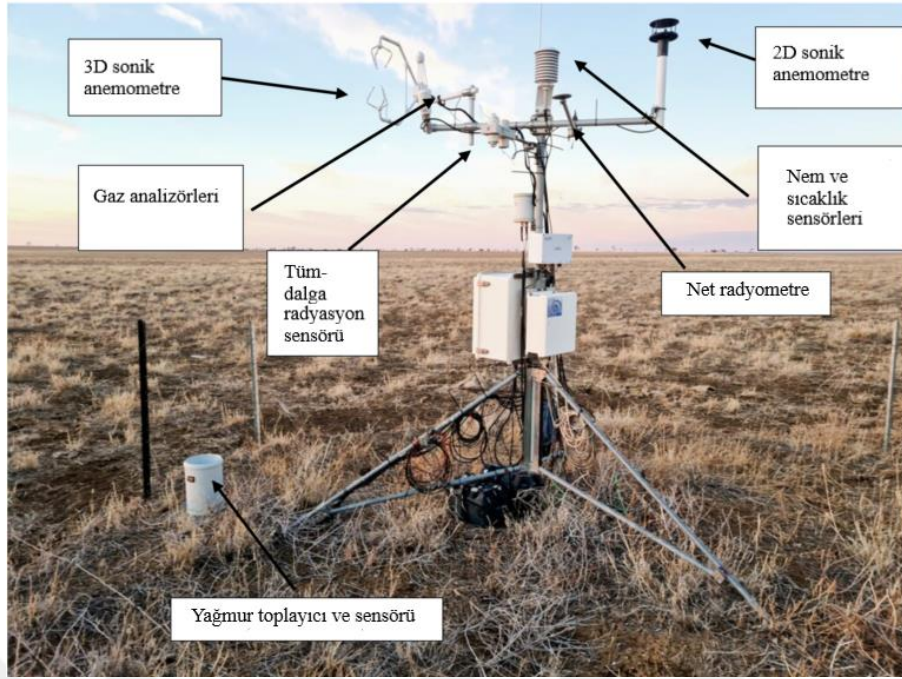
Açık Dinamik Hazne Sistemleri: Açık dinamik hazne sistemlerinde (bkz. Şekil 2.6), kapalı dinamik sistemlerden farklı olarak, hazneye dış ortamdan sürekli olarak hava girişi ve aynı oranda hazneden dışarı hava çıkışı mevcuttur. Hazneye giren ve hazneyi terkeden gaz derişimleri haznenin giriş ve çıkışında olmak üzere iki ayrı noktada sürekli olarak ölçülmektedir (Kutsch vd., 2009). Bu yaklaşımda gaz akıları, derişimlerin farklılıkları yardımı ile göre hesaplanmaktadır. Bu yöntemde gaz birikim zamanı yoktur ve akı sürekli olarak analiz edilmektedir. Karışma oranı odacığın üst bölümünde sınırlı olabilmektedir (Balogh vd., 2007). Bu nedenle, açık dinamik hazne yöntemi düşük gaz derişimlerine sahip, kuru ve sıcak alanlarda örnekleme için daha uygun olmaktadır. Öte yandan, kapalı dinamik hazne yöntemi ile karşılaştırıldığında, açık dinamik hazne metodunun daha kompleks ve daha pahalı olduğunu söylemek mümkündür (Pumpanen vd., 2004).



Şekil 2.6. Açık dinamik hazne örnekleme sistemi (Cowan vd., 2014)

2.5.2 Mikrometeorolojik Metotlar

Eddy kovaryans yöntemi artan bir şekilde gaz akılarının ölçümünde kullanılmaktadır (bkz. Şekil 2.7). Bu yöntemde, atmosfer ile toprak yüzeyi arasındaki akı ve ısı değişimi dikey türbülansın faydalanılarak ölçülmektedir (Launiainen vd., 2005). Eddy kovaryans tekniği, kanopi-atmosfer ara yüzeyindeki net karbon değişiminin doğrudan bir ölçüsünü üretir. Bu ölçüm, dikey rüzgar hızı ve skaler derişim dalgalanmaları arasındaki kovaryans ölçümlerini yorumlamak için mikrometeorolojik teori kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yöntemde sera gazı ölçümleri için gaz analizörü ve üç boyutlu ultrasonik anemometre kullanılmaktadır (Myklebust vf., 2008). Eddy kovaryans yöntemi ile CO₂ ve CH₄ akıları küçük arazi parsellerinden birkaç kilometrekarelik ve daha geniş bir alanda sürekli olarak ölçülebilmektedir (Myklebust vd., 2008). Yöntemin dezavantajlarını, toprak yüzeyinde türbülansın çok düşük olduğu durumlarda ölçüm hatasına yol açabilmesi ve işletim maliyetinin fazla olması şeklinde sıralamak mümkündür.



Şekil 2.7. Eddy kovaryans sistemi (Tern Ekosistem Araştırma Organizasyonu, 2023)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

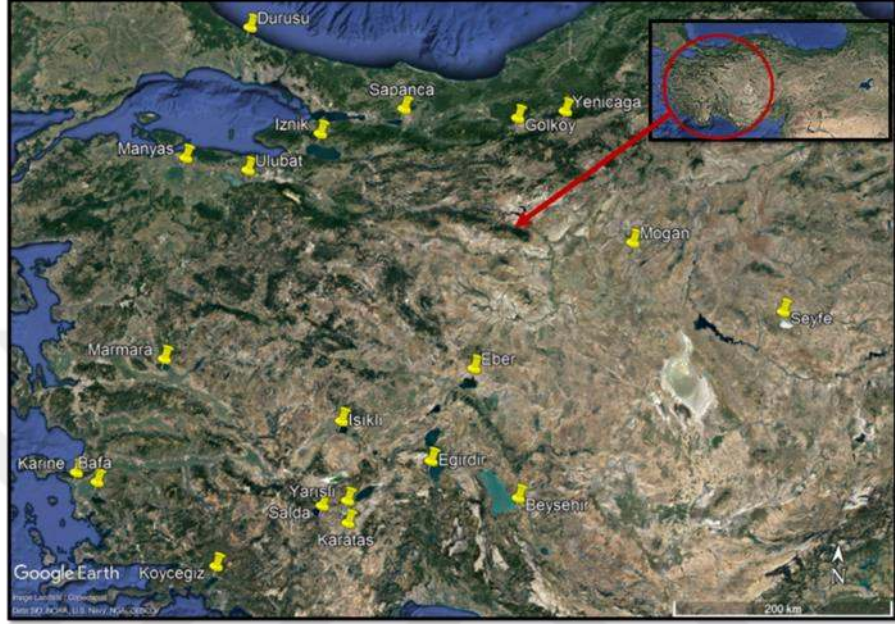
3.1 Örneklem Noktaları ve Tanımlayıcı Özellikleri

Akı ölçümlerinin gerçekleştirildiği 20 gölün konum haritası Şekil 3.1'de, göllere ait özellikler Tablo 3.1'de verilmiştir. Göllerin yüzey alanları ve maksimum su derinlikleri sırasıyla 2,6 ile 656 km² ve 2 ile 184 m arasında değişmektedir. Altı göl (Salda, Karataş, Yarıklı, Eğirdir, Beyşehir ve Köyceğiz) (bkz. Fotoğraf 3.1) sırasıyla Ocak ayında 6,4°C, Temmuz ayında 26,8°C olan ortalama kış ve yaz sıcaklıkları ile Akdeniz bölgesinde yer almaktadır. Yıllık toplam yağış yüksekliği 725,9 mm ve yaklaşık %5,7'si Haziran'dan Ağustos'a kadar olan yaz döneminde düşmektedir (Eken vd., 2005). Akdeniz iklimine benzer koşulların hüküm sürdüğü Ege bölgesinde dört göl (Bafa, Karine, Göl Marmara ve Işıklı) bulunmaktadır (bkz. Fotoğraf 3.2). Beş göl (Sapanca, Manyas, Ulubat, İznik ve Durusu) (bkz. Fotoğraf 3.3), en düşük ve en yüksek ortalama sıcaklıkların sırasıyla 4,9°C (Ocak) ve 23,7°C (Temmuz) ile Akdeniz, Karadeniz ve karasal iklimler arasında bir geçiş bölgesi olan Marmara bölgesinde yer almaktadır. Bu bölge için raporlanan ortalama yıllık yağış 595,7 mm olup bunun yaklaşık %11,7'si yaz aylarında (Haziran-Ağustos) gözlenmektedir (Eken vd., 2005). Marmara bölgesi, geniş ovalar ve tarım arazileri ile kaplı, buna bağlı olarak Türkiye'de ortalama olarak en düşük rakıma sahiptir. Yüksek kentleşme oranı ve nüfus yoğunluğu nedeniyle Marmara'da çevresel bozulma ve kirlilik seviyeleri diğer bölgelere kıyasla genel olarak daha yüksektir (Eken vd., 2005).

Mogan, Seyfe ve Eber gölleri (bkz. Fotoğraf 3.4), yazın (Haziran-Ağustos) ortalama 22°C ve ortalama kış (Kasım-Şubat) sıcaklıkları 0,7°C olan, kendine özgü bir kuraklık ile karakterize İç Anadolu bölgesinde yer almaktadır. Bu bölge aynı zamanda 420 mm'nin altında olan en düşük yıllık ortalama yağışa sahiptir (Eken vd., 2005). Yeniçağa ve Gököy gölleri (bkz. Fotoğraf 3.5), en düşük ve en yüksek sıcaklıkları sırasıyla 4,2°C (Ocak) ve 22,1°C (Temmuz) ile Batı Karadeniz bölgesinde yer alır. Bu bölgedeki yıllık ortalama 842,6 mm yağışın yaklaşık %20'si yaz aylarında (Haziran – Ağustos arasında) düşer (Eken vd., 2005).

20 göl için yazın uzun vadeli iklim durumunu karakterize etmek için, üç aylık standardize yağış endeksi (Haziran, Temmuz ve Ağustos) (SPI₃), McKee vd. (1993) ve Edwards ve McKee (1997) tarafından açıklanan yöntem kullanılarak 1969 ile 2019 arasındaki aylık yağış verilerinden; 1970 ile 2020 arasındaki 30'ar

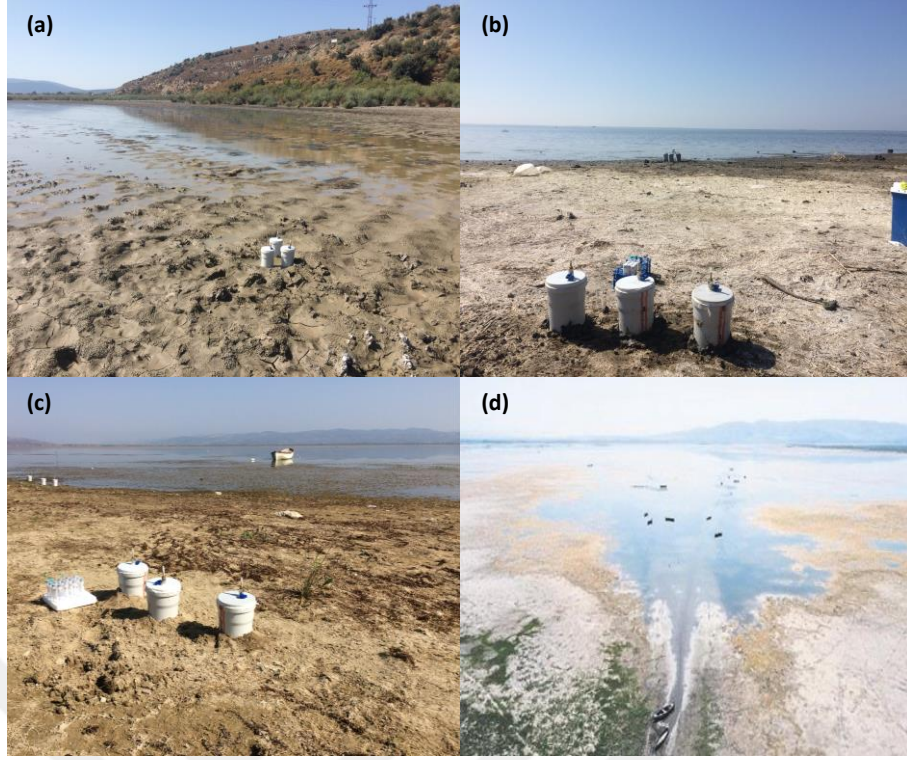
yılın aylık yağış verilerinden ise 2020 yılı için hesaplanmıştır. Her bir göl için coğrafi olarak en yakın konumda bulunan meteoroloji istasyonlarından ayrı ayrı temin edilen uzun dönem meteorolojik verilerle hesaplanan SPI₃ değerleri Tablo 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma kapsamında ziyaret edilen 20 gölün konum haritası.



Fotoğraf 3.1. Akdeniz Bölgesi gölleri ((a) Salda, (b) Karataş, (c) Yarışlı, (d) Eğirdir, (e) Beyşehir ve (f) Köyceğiz)



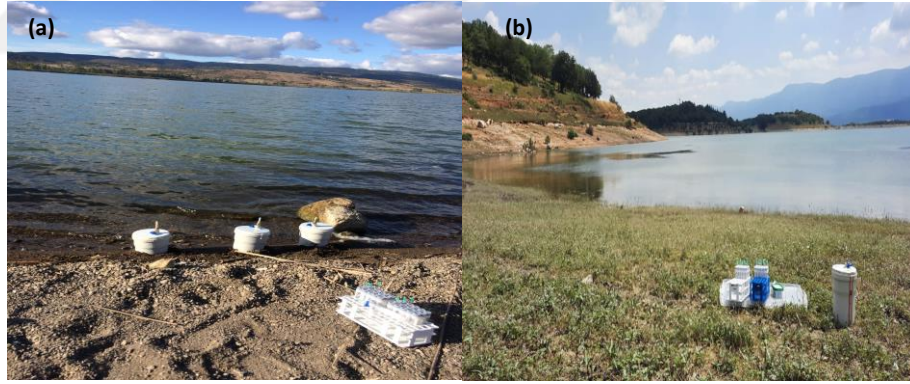
Fotoğraf 3.2. Ege Bölgesi gölleri ((a) Bafa, (b) Karine, (c) Göl Marmara ve (d) Işıklı)



Fotoğraf 3.3. Marmara Bölgesi gölleri ((a) Sapanca, (b) Manyas, (c) Ulubat, (d) İzmit, (e) Durusu)



Fotoğraf 3.4. İç Anadolu Bölgesi gölleri ((a) Mogan, (b) Seyfe ve (c) Eber)



Fotoğraf 3.5. Karadeniz Bölgesi gölleri ((a) Yeniçağa ve (b) Gököy Baraj Gölü)

Tablo 3.1. Çalışma kapsamında ziyaret edilen göllere ait özellikler.

Göl	Bölge	Enlem (K, DD)	Boylam (D, DD)	Yükseklik (m)	SPI ₃		Yüzey alanı (km ²)	Maks. derinlik (m)	Trokik durum (Carlson Trokik Endeksine dayalı)	Örnekleme tarihi (GG/AA)		Baskın antropojenik etki
					2019	2020				2019	2020	
Mogan	İç Anadolu	39,739611	32,772055	970	0,96	0,13	664	3 - 5	Hipertrofik ^a	02/08	02/08	Kentsel/trafik/hayvancılık
Seyfe	İç Anadolu	39,368055	34,366000	1200	3,22	-0,89	15	1,6	Ötrofik ^d	03/08	03/08	Tarım/hayvancılık
Işıklı	Ege	38,203194	29,858583	800	-0,86	-0,19	49,8	3	Oligotrofik ^e	09/08	08/08	Tarım/hayvancılık
Karataş	Akdeniz	37,386527	29,984277	1050	-0,62	-0,46	24,3	2	Mezotrofik ^f	07/08	09/08	Tarım/hayvancılık
Salda	Akdeniz	37,512583	29,713416	1193	-0,62	-0,46	44,5	196	Oligotrofik ^e	06/08	10/08	Turizm
Yarıslı	Akdeniz	37,566666	29,966666	860	-0,62	-0,46	16,2	4	-	08/08	11/08	Tarım
Gölköy	Karadeniz	40,704722	31,522472	800	-0,25	-2,71	1,3	10	Mezotrofik ^g	10/10	18/08	Kentsel/hayvancılık/tarım
Yeniçağa	Karadeniz	40,774499	32,021833	990	-1,68	-2,41	2,8	12	Hipertrofik ^h	29/09	19/08	Tarım/kentsel deşarjlar
Eber	İç Anadolu	38,680666	31,181111	967	0,67	0,37	130,1	21	Hipertrofik ^a	14/08	22/08	Hayvancılık/endüstri
Eğirdir	Akdeniz	37,923527	30,791194	915	-1,44	-1,61	456,3	16	Mezotrofik ⁱ	15/08	23/08	Tarım/turizm
Beyşehir	Akdeniz	37,657527	31,689250	1115	-2,31	-1,62	690,9	10	Mezotrofik ^b	16/08	24/08	Kentsel/tarım
İznik	Marmara	40,498083	29,449583	85	0,46	0,20	304,5	65	Mezotrofik ^j	25/08	29/08	Yoğun tarım
Ulubat	Marmara	40,165916	28,716944	7	-2,77	-3,39	154,1	3	Hipertrofik ^k	24/08	30/08	Kentsel/endüstriyel
Sapanca	Marmara	40,735277	30,318611	31	0,87	-3,04	47,7	61	Mezotrofik ^a	31/07	31/08	Kentsel/trafik
Manyas	Marmara	40,229250	28,046222	18	-3,02	-3,85	160,6	4	Hipertrofik ^j	23/08	05/09	Turizm
Marmara	Ege	38,596666	27,995333	75	-0,30	0,73	71	3 - 4	Ötrofik ^l	22/08	06/09	Hayvancılık/tarım
Karine	Ege	37,614277	27,172055	0	-0,44	-1,33	21	1	Mezotrofik ^m	17/09	14/09	Kırsal/deniz suyu girişimi
Bafa	Ege	37,554305	27,394027	10	1,69	-1,32	70,9	25	Ötrofik ⁿ	16/09	15/09	Tarım/hayvancılık
Köyceğiz	Akdeniz	36,958027	28,674277	10	0,06	-2,23	52	2	Ötrofik ^o	18/09	16/09	Kentsel/turizm
Durusu	Marmara	41,321083	28,615527	4	0,95	-1,54	39	11	Ötrofik ^p	09/09	23/09	Kentsel/trafik

^aGSAEP, 2017; ^bGülle vd., 2022; ^cGülle, 2011; ^dYerli vd., 2003; ^eBarinova vd., 2014; ^fHADB, 2013; ^gKülköylüoğlu, 2005; ^hSaygı-Başbuğ ve Demirkalp, 2004;

ⁱBulut ve Kubilay, 2018; ^jÖzbayram vd., 2021; ^kKesmez ve Dalkıran, 2023; ^lTürk-Çulha vd., 2017; ^mSoria vd., 2022; ⁿSukatar vd., 2020; ^oTaşeli, 2017; ^pYılmaz vd., 2021

Çalışma kapsamında Türkiye'nin batı kesiminde yer alan ve enlemsel olarak kuzeyden güneye sıralı Tablo 3.1'de sunulan toplamda 20 doğal tatlısu gölü için üç aylık Standart Yağış Endeksi (SPI₃) değerleri belirlenmiş takibinde örnekleme kampanyası gerçekleştirilmiştir. SPI değerleri, belirlenen zaman dilimi içinde yağışın ortalamadan olan farkının standart sapmaya bölünmesi ile elde edilmiştir (McKee vd., 1993). $SPI = (X_i - X_{i\text{ortalama}}) / \sigma$ eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada SPI; Standart Yağış İndeksi, X_i ;Aktüel yağış miktarı, $X_{i\text{ortalama}}$; ortalama yağış miktarı ve σ ; standart sapma değerini ifade etmektedir. Bu doğrultuda 30 yıl olarak belirlenen süre zarfı içerisindeki Haziran-Temmuz-Ağustos aylarının yağış miktarlarının ortalama değerleri, 2019 ve 2020 yılları Haziran-Temmuz-Ağustos aylarının yağış miktarlarının ortalama değerinden çıkarılmış ve 30 yılın bu üç ayı için hesaplanan yağış miktarlarının standart sapma değerine bölünmüştür. SPI değerlerinin hesaplanmasında kullanılacak veri seti ise göllerin bulunduğu illerde sürekli yağış ölçümlerin gerçekleştirdiği Meteoroloji Genel Müdürlüklerinden temin edilmiştir. SPI değerleri dikkate alınarak yapılan bir kuraklık değerlendirmesinde endeksin sıfırın altına ilk düştüğü dönem kuraklığın başlangıcı olarak kabul edilirken, endeksin pozitif değere yükseldiği ay ise kuraklığın bitimi olarak değerlendirilmektedir (bkz. Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Standart Yağış Endeksi sınıflandırması

SPI Değer Aralığı	Sınıflandırma
$2,0 < SPI$	Aşırı nemli
$1,5 < SPI \leq 2,0$	Çok nemli
$1,0 < SPI \leq 1,5$	Hafif nemli
$-1,0 < SPI \leq 1,0$	Normal Yağış
$-1,5 < SPI \leq -1,0$	Hafif kurak
$-2,0 < SPI \leq -1,5$	Çok kurak
$SPI \leq -2,0$	Aşırı kurak

3.2 Sediman Fizikokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi

Ölçümlerin gerçekleştirildiği noktalarda dış ortam meteorolojik bileşenlerinden hava sıcaklığı (T, °C), hava basıncı (P, hPa) ve bağıl nem seviyeleri (RH,%) taşınabilir bir meteoroloji sensörü (Vantage Pro 2, Davis Instruments, CA, ABD) kullanılarak kaydedilmiştir. Tüm örnekleme noktalarının coğrafi koordinatları, el tipi bir küresel konumlandırma sistemi (GPS) (Magellan Explorer 610) kullanılarak elde edilirken, sediman nemi (RH,%), sediman sıcaklığı (Ts, °C) ve sediman elektriksel iletkenlik (EC, $\mu S\ cm^{-1}$) bileşenleri taşınabilir bir sensör

sistemi (HH2 WET Sensor, Delta T Devices Ltd., Cambridge, UK) kullanılarak yerinde ölçülmüştür.

Göl kıyısı arayüzlerinden ıslak ve kuru sediman numuneleri, gaz numunesinin alınmasından hemen sonra toplanmış ve fizikokimyasal özelliklerini karakterize etmek için laboratuvarda analiz edilmiştir. Sediman numuneleri temiz bir kürek kullanılarak toplanarak soğuk taşıma çantalarında temiz polietilen numune alma torbalarında taşınmıştır. Alınan su numuneleri de asitle temizlenmiş polietilen numune şişelerinde saklanmış ve analizlerine kadar serin ve karanlık bir ortamda tutulmuştur. Sediman bağıl yoğunlukları (BD), Grossman ve Reinsch (2002) tarafından açıklanan yöntemin modifiye bir versiyonu kullanılarak hesaplanmıştır. Sediman numuneleri 105°C'de 2 saat kurutulmuş, tartılmış ve bağıl yoğunluğunun g cm^{-3} cinsinden hesaplanması için kullanılan silindirik sediman örnekleyici hacmine bölünmüştür.

Sediman numuneleri 2 mm paslanmaz çelik bir elek içinden elenmiş ve homojenizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Sediman dokusu tayini için, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO, 2006) önerdiği Bouyoucos hidrometre yöntemi kullanılmıştır. 10 g taze sediman numunesi 25 mL deiyonize su ile karıştırılmış, ardından pH ve redoks potansiyelleri (RP) (mV) laboratuvar tipi elektrotlar kullanılarak süspansiyonda ölçülmüştür. Sediman suyu (sediment water content - SWC) ve organik madde (sediment organic material - SOM) içerikleri, sırasıyla 5 g taze sedimanın 105°C'de sabit bir ağırlığa ulaşılana kadar (24 saat) kurutulması ve 500°C'de 4 saat yakılması sonrasında gravimetrik olarak belirlenmiştir. Ortalama olarak, SOM değerlerinin 1,72 katı sediman organik karbon (sediment organic carbon - SOC) içeriği olduğu varsayılmış; başka bir ifadeyle, SOM'nin %58 oranında SOC içerdiği kabul edilmiştir (FAO, 2019). Ortalama olarak 5 cm derinliklerden alınan sedimanlar için SOC stoğu aşağıdaki eşitlik 3.1 ile hesaplanmıştır:

$$\text{SOC}_i \text{ stock (Mg C ha}^{-1}\text{)} = \text{OC} \times \text{BD} \times (1 - \text{CF}) \times \text{SD} \times 0,1 \quad (3.1)$$

Burada OC organik karbon içeriği (mg C g^{-1}); BDi, sediman bağıl yoğunluğu (g cm^{-3}); CF, iri taneciklerin (g g^{-1}) kütle oranı; SD, 5 cm'lik sediman derinliğidir; ve 0,1 çevirme katsayısı, mg C cm^{-2} 'den Mg C ha^{-1} 'a dönüşüm faktörüdür.

Elenmiş ve fırında kurutulmuş sediman numunelerinin C, H, N ve S içerikleri (g kg^{-1}) bir elementel analiz sistemi (FlashSmartTM, Thermo Fisher

Scientific, MA, ABD) kullanılarak analiz edilmiştir. 2,5-bis (5-tert-butyl-benzoksazol-2-yl) thiophene (BBOT, sertifika no: 217874), L-sistein (sertifika no: 302700), DL-methionine sulfone (sertifika no: 291468) analizörün kalibrasyonunda, sülfanilamid (sertifika no: 304582) ise kalite kontrol ve kalite güvence analizlerinde kullanılmıştır. Elemental analizler Bursa Teknik Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarı'nda (BTU-MERLAB) hizmet alımı yoluyla yapılmıştır.

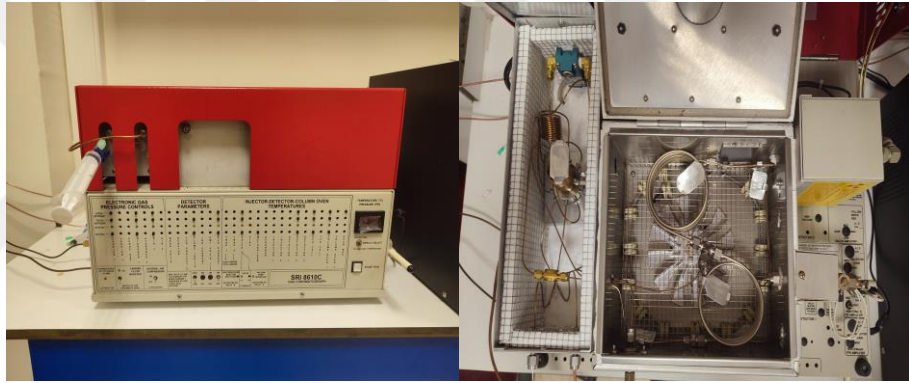
Göl suyu örneklerinin nitrat azotu ($\text{NO}_3^{2-}\text{-N}$), amonyak ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), toplam azot (TN) ve ortofosfat olarak fosforu ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) konsantrasyonları standart spektrofotometrik yöntemler (Eaton ve Franson, 2005) ve standart test kitleri (LCK 138 TN, LCK 339 $\text{NO}_3^{2-}\text{ N}$, LCK 349 P, Hach Lange GMBH ve $\text{NH}_4^+\text{-N}$ testi, Merck, GMBH) kullanılarak belirlenmiştir. Tüm ölçümler bir UV / Vis spektrofotometre (DR 5000; Hach Lange, GMBH) kullanılarak yapılmıştır.

3.3 Örneklem Yöntemi ve Sera Gazı Analizleri

Sediman CO_2 , CH_4 ve N_2O akıları sabah (09:00-10:00) ve öğleden sonra (16:00-17:00) olmak üzere zamansal olarak ve 20 gölün iki aşırı ıslak-kuru sediman arayüzlerinden örneklenmiştir. Akı örnekleme 2019 yılının 31 Temmuz- 10 Ekim, 2020 yılının 02 Ağustos- 23 Eylül tarihleri arasında, göl-kara arayüzlerinin kurumasının zirve yaptığı yaz döneminde yapılmıştır. 20 göl, Karadeniz, Marmara, İç Anadolu, Ege ve Akdeniz'in beş ekolojik bölgesine ve deniz seviyesinden 0-1200 m yüksekliğe kadar uzanan Türkiye'nin batı kuzey-güney eğimi boyunca rastgele seçilmiştir (bkz. Şekil 3.1). Her göl için sera gazı örnekleme (ppm), 15 dakikalık aralıklarla (0, 15, 30, 45 ve 60 dakika) üç tekrarda kapalı hazneler kullanılarak mekânsal ve zamansal olarak olarak gerçekleştirilmiştir.

Kapalı hazne yöntemi, Hutchinson ve Mosier (1981) ve Collier vd. (2014) tarafından açıklanan örnekleme protokolü izlenerek gerçekleştirilmiştir. Hava geçirmez luer-lock numune alma valfli polivinil klorürden (PVC) imal edilmiş 125 mm iç çapı ve 225 mm yüksekliğindeki özel yapım opak hazneler sedimana yaklaşık 5 cm batırılmış ve zeminden sızdırmaz hale getirilmesi için kille izole edilmiştir. Bölme üst boşluğundan gaz numuneleri, iki yollu luer-kilit valfleri takılmış 20 mL'lik plastik bir şırınga ile alınmıştır. Gaz numunesi, sızdırmaz butil septumlu 9 mL'lik önceden vakumlanmış bir şişeye enjekte edilmiştir. Toplam 2400 gaz örneği ($20 \text{ göl} \times 2 \text{ nokta} \times 2 \text{ periyot} \times 2 \text{ yıl} \times 3 \text{ tekrar}$) ve 80 sediman örneği ($20 \text{ göl} \times 2 \text{ nokta} \times 2 \text{ yıl}$) elde edilmiştir.

CO₂, CH₄ ve N₂O derişimleri, N₂O için bir elektron yakalama detektörü (ECD) ve CO₂ ile CH₄ için bir metanizer sistemli bir alev iyonizasyon detektörü (FID) ile kombine bir gaz kromatografisi (GC) (8610, SRI Instruments, ABD) kullanılarak toplandıktan sonraki 48 saat içinde laboratuarda analiz edilmiştir (bkz. Fotoğraf 3.6). Kullanılan GC sistemi, hem su buharını ortadan kaldırmak için bir ters yıkama sistemi hem de analit gazlarının analitik olarak ayrılması için seri olarak bağlanmış iki Haysep-D kolon ile donatılmıştır. GC sistemi, izotermal 50°C'lik bir fırın sıcaklığında 5,8 dakika süreyle, ECD sıcaklığı 320°C ve metanizer sıcaklığı 300°C ile çalıştırılmıştır. 20 psi'de (10 mL dak⁻¹) taşıyıcı gaz olarak yüksek saflıkta N₂ (% 99,999) kullanılmıştır. Hidrojen 21 psi'de (25 mL dak⁻¹) kullanılırken, FID için hücre gazları olarak 9 psi'de (250 mL dak⁻¹) kuru hava kullanılmıştır. GC sistemi, sertifikalı referans gazları 1,9; 3,3; 15 ve 50 ppm CH₄, 0; 250 ve 500 ppm CO₂ ve 0; 5 ve 10 ppm N₂O için enjekte ederek kalibre edilmiştir.



Fotoğraf 3.6. Analizlerde kullanılan gaz kromatografi sistemi

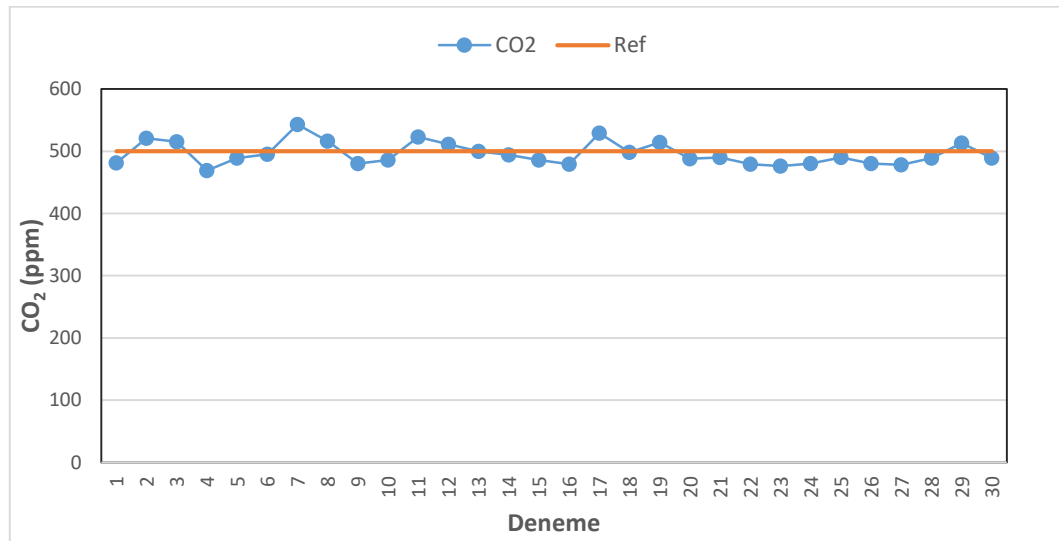
3.4 Kalite Kontrol ve Kalite Güvence

Sera gazı analizlerinde 4 aşamalı bir kalite güvenilirlik yaklaşımı uygulanmıştır. Bu kapsamda analizlerde kullanılan GC-ECD-FID cihazının öncelikle bakım-onarım gereksinimleri yetkili bir firma tarafından gerçekleştirilmiştir. Cihazın FID dedektörü ve ateşleyicisi temizlenerek yeniden monte edilmiş, kolon ve valf bakımları yapılmış ve son olarak fırın sıcaklık termostatu ile akış hızı kontrol ünitelerinin sağlıklı şekilde çalıştıklarından emin olunmuştur.

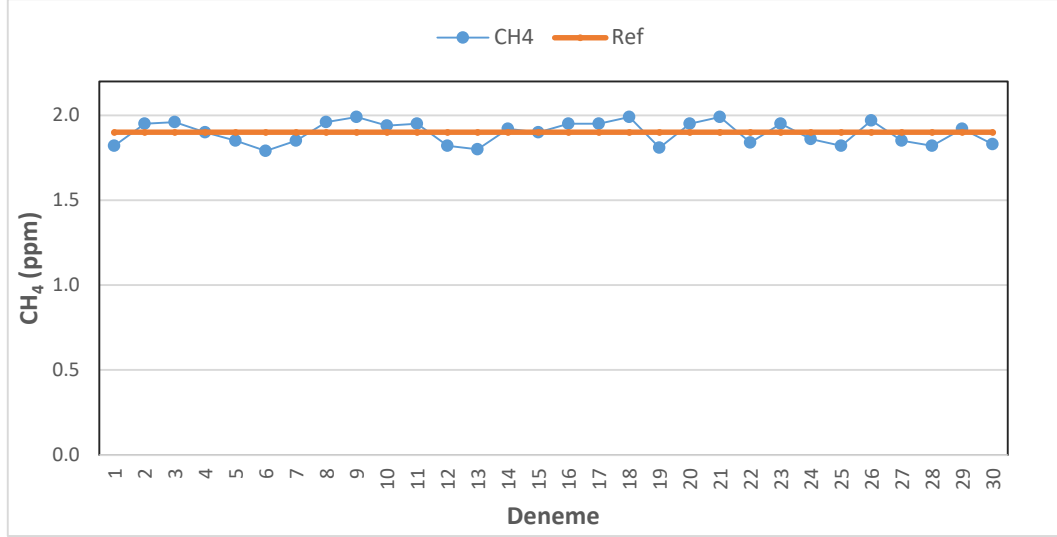
Cihazda taşıyıcı gaz olarak yüksek saflıkta N₂ (%99,999 saflık), FID dedektöründe ise ateşleyici olarak yine yüksek saflıkta H₂ (%99,999 saflık) gazı kullanılmaktadır. Bu gaz tüplerinin dolumu analizlerden hemen önce

gerçekleştirilmiştir. Cihazın analit kalibrasyonları için ise balans N₂ içerisinde 500 ppm CO₂ ve 1,9 ppm CH₄ gazlarından oluşan bir karışım ile balans N₂ içerisinde 10 ppm N₂O gazlarından oluşan standart karışım tüpleri arazi çalışmalarının başlangıcından önce sertifikalı olarak doldurulmuştur. CH₄ gazının 1,9 ppm'den daha yüksek seviyeler için kalibrasyonunda ise yine sertifikalı hacmen %5 CH₄ içeren karışım tüpünden alınarak saf N₂ ile seyreltilen ara derişimler kullanılmıştır. Bu tüplerden çekilerek N₂ ile seyreltilen kalibrasyon derişimleri kullanılarak cihaz her CO₂ için 0; 250 ve 500 ppm, CH₄ için 0; 1,9; 3,3 ve 15 ppm, N₂O için ise 0; 5 ve 10 ppm olmak üzere 3 ve/veya 4 noktalı olarak kalibre edilmiştir.

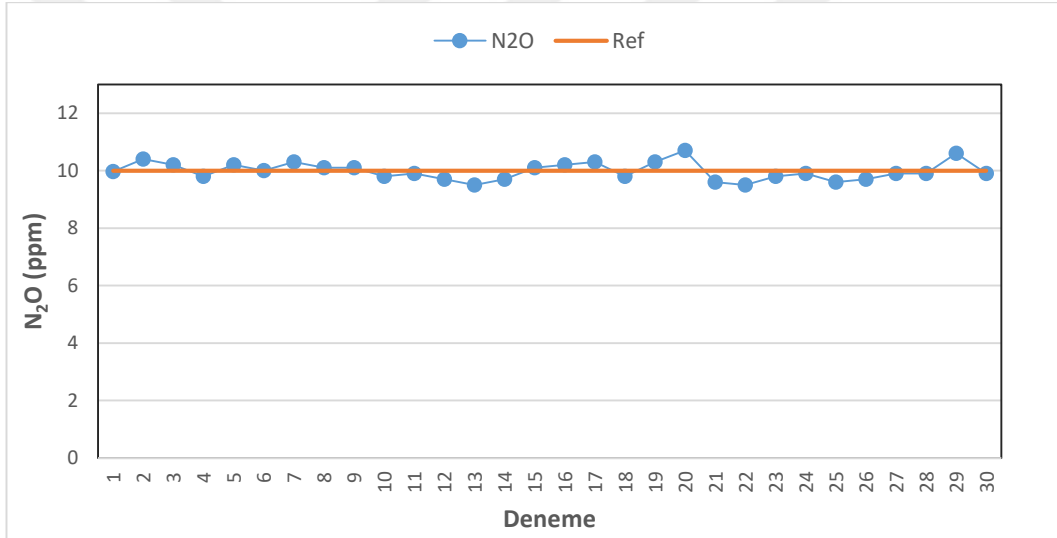
Cihazın kalibrasyon kontrollerinde sertifikalı tüplerin cihaza doğrudan bağlanması yoluyla gerçekleştirilen enjeksiyonların sonuçları kullanılmıştır. Buna göre cihaza 500 ppm CO₂ ve 1,9 ppm CH₄ içeren tüpten doğrudan gerçekleştirilen 30 enjeksiyondan ve 10 ppm N₂O içeren tüpten gerçekleştirilen 30 enjeksiyondan elde edilen sonuçlar aşağıda Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre CO₂, CH₄ ve N₂O parametreleri için doğrudan analizlerdeki ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla; $496,03 \pm 17,76$; $1,90 \pm 0,06$ ve $9,98 \pm 0,03$ ppm olarak hesaplanmıştır. Buna göre analiz edilen 3 sera gazının kullanılan gaz kromatografik sistemdeki analitik tespit limitleri (LOD değerleri) 30 adet sıralı standart enjeksiyonların standart sapma değerlerinin 3 katı olmak üzere; CO₂ için 53,3ppm, CH₄ için 0,18 ppm ve N₂O için 0,09 ppm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.2. CO₂ referans tüpten doğrudan enjeksiyon analiz sonuçları



Şekil 3.3. CH₄ referans tüpten doğrudan enjeksiyon analiz sonuçları



Şekil 3.4. N₂O referans tüpten doğrudan enjeksiyon analiz sonuçları

Analiz kalite güvenilirliğinin ikinci aşamasında ise yine sertifikalı standart tüplerinden şırınga ile doğrudan örnekler çekilerek GC-ECD-FID sistemine enjekte edilmiştir ve elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Bu test için 20 mL hacimli şırıngaya referans tüpten doldurulan gaz numuneler 2 seferde, her biri 5'er mL olacak şekilde cihaza enjekte edilerek tekrarlanabilirlik incelenmiştir. Her üç gaz için de 10'ar kez tekrarlanan bu testin sonuçları aşağıda özetlenmiştir (bkz. Tablo 3.3).

Tablo 3.3. Tüpten şırıngayla cihaza doğrudan enjeksiyon ile incelenen tekrarlanabilirlik testi sonuçları (n=20)

	CO ₂ (ppm)	CH ₄ (ppm)	N ₂ O (ppm)
Standart Derişim (ppm)	500,0	1,90	10,0
Ortalama (ppm)	502,13	1,90	10,13
Std. Sapma	18,06	0,04	0,31

Tüpten vakumlu viallere alınarak cihazda analiz edilen numuneler ve elde edilen derişimler ise aşağıda Tablo 3.4’te özetlenmiştir.

Tablo 3.4. Vialden şırıngayla cihaza enjekte edilen örneklerin analiz sonuçları

	CO ₂ (ppm)	CH ₄ (ppm)	N ₂ O (ppm)
Standart Derişim (ppm)	500,0	1,90	10,0
Ortalama (ppm)	506,15	1,90	9,68
Std. Sapma	16,90	0,02	1,93

Analiz kalite kontrol çalışmaları kapsamında son olarak arazi çalışması esnasında toplanan örneklerde difüzyon sebebiyle meydana gelebilecek kayıplar incelenmiştir. Bu maksatla her bir arazi ziyareti öncesinde yola çıkmadan önce laboratuvarında standart gaz tüplerinden şırınga yardımıyla çekilen gaz numuneleri, vakumlu numune tüplerine enjekte edilmiştir. Enjeksiyon yapılan tüpler boş tüplerle birlikte araziye götürülmüş, örneklerle aynı soğutmalı saklama kabında tutulmuş ve dönüşte sahadan toplanan numunelerle birlikte analiz edilmiştir. İçlerinde bilinen derişimde gaz bulunan tüpler analiz edilerek arazi ziyareti süresinde alınan örneklerde meydana gelebilecek difüzyon kayıplarının izlenmesinde vekil standartlar olarak kullanılmışlardır. Gerçekleştirilen arazi ziyaretlerine götürülen standart tüpleri ve arazi ziyareti dönüşü bu tüplerden elde edilen derişimler Tablo 3.5’te özetlenmiştir. Ortalama geri kazanım oranları bütün gazlarda %90’ın üzerinde çıktığı için ölçüm sonuçlarında herhangi bir düzeltme yapılmamıştır.

Tablo 3.5. Araziye götürülen vekil tüpler ve analiz sonuçları

Saha Ziyareti	CO ₂ (ppm)	CH ₄ (ppm)	N ₂ O (ppm)
Mogan gölü (2 gün)	499,68	1,86	9,32
Geri kazanım (%)	99,9%	97,8%	93,2%
Seyfe gölü (2 gün)	499	1,86	9,61
Geri kazanım (%)	99,8%	97,9%	96,1%
Salda gölü (3 gün)	495,38	1,78	9,46
Geri kazanım (%)	99,1%	93,6%	94,6%
Karataş gölü (3 gün)	500,15	2,08	9,29
Geri kazanım (%)	100,1%	109,4%	92,9%
Yarışlı gölü (3 gün)	496,98	1,91	9,30
Geri kazanım (%)	99,4%	100,5%	93,0%
Marmara gölü (3 gün)	498,24	1,68	9,15
Geri kazanım (%)	99,6%	88,5%	91,5%
Manyas gölü (3 gün)	499,53	1,93	8,93
Geri kazanım (%)	99,9%	101,6%	89,3%
Ulubat gölü (3 gün)	496,23	1,89	8,96
Geri kazanım (%)	99,2%	99,4%	89,6%
Eğirdir gölü (3 gün)	495,38	1,78	8,96
Geri kazanım (%)	99,0%	93,6%	89,6%
Beyşehir gölü (3 gün)	500,15	2,08	9,09
Geri kazanım (%)	100,1%	109,4%	91,0%
Eber gölü (3 gün)	496,98	1,91	9,3
Geri kazanım (%)	99,4%	100,5%	93,0%
Ortalama Geri Kazanım	99,5%±0,5%	99,3%±5,8%	92,2%±1,9%

3.5 Sera Gazı Akılarının Hesaplanması

GC analizini takiben CO₂, CH₄ ve N₂O konsantrasyonlarının, alansal akıları Collier vd. (2014) ve Martinsen vd. (2019) tarafından tarif edilen yöntemle (Eşitlik 3.2) hesaplanmıştır. Sera gazı akıları, aşağıdaki ideal gaz yasası kullanılarak her günlük dönem için zaman serisi konsantrasyon verilerinin en uygun doğrusal regresyon modellerinin eğimlerinden türetilmiştir (Collier vd., 2014; Keller vd., 2020):

$$F (CO_2, CH_4, N_2O) = \frac{d_p(CO_2, CH_4, N_2O)}{dt} \left(\frac{PV}{RTS} \right) \quad (3.2)$$

Burada F: mmol m⁻² h⁻¹ biriminden alansal akıyı, $\frac{d_p(CO_2, CH_4, N_2O)}{dt}$ CO₂, CH₄ ve N₂O gazları için eğimi (değişim hızını), P: atmosferik basıncı (Pa), V: haznenin hacmini (m³), R: evrensel gaz sabitini (8.3143 m³ Pa K⁻¹ mol⁻¹), T: hava sıcaklığı (°C), ve S: hazne kesit alanını (m²) temsil etmektedir.

3.6 İstatistiksel Veri Analizleri

20 gölde, üç sonuç değişkeni (response variable) olan CH₄, CO₂, ve N₂O akıları, iki farklı zamanda (sabah ve öğleden sonra) ve ıslak-kuru gradyanlar boyunca aşağıdaki 26 açıklayıcı değişken birlikte ölçülmüştür. Bu değişkenler; dört coğrafi (enlem, boylam, yükseklik ve coğrafi bölge), dört meteorolojik (SPI₃, basınç, sıcaklık ve bağıl nem), dört su besin (NO₃²⁻-N, NH₄⁺-N, toplam N ve PO₄³⁻-P) ve 14 fizikokimyasal değişken (sıcaklık, silt, kil ve kum yüzdeleri, sediman bağıl yoğunluğu, su içeriği, pH, redoks potansiyeli, elektriksel iletkenlik, karbon stok değeri, S ve H içerikleri ve C / N oranı) olarak sıralanmıştır. Veri kümesi, birbirini takip eden dört aşamada değerlendirilmiştir. Bunlar sırasıyla: (1) aykırı değer tespiti (outlier identification); (2) çoklu bağlantı saptama (multicollinearity detection); (3) optimal dağılım tanımlaması (optimal distribution identification); ve (4) hipotez testleri. Çeyrek aralık değişim (interquartile range) yöntemine dayalı olarak, aykırı değerler, bu çalışmada kuyruk çeyrekliğinin ötesindeki çeyrekler arası aralığın 3 katından büyük herhangi bir değer olarak ve kuyruk çeyrekliği 0,1 olarak ayarlandığı 1-kuyruklu çeyreklik değer olarak tanımlanmıştır. Açıklayıcı değişken çiftleri arasındaki çoklu bağlantı, Spearman'ın korelasyon matrisi kullanılarak değerlendirilmiş ve korelasyon katsayısı (r) değeri 0.40'ın üzerinde olduğunda var olduğu kabul edilmiştir. Yukarıda tanımlanan işlemlerin ardından ortaya çıkan veri seti, çeşitli hipotez testleri için hem aykırı değerlerden (outliers) hem de çoklu bağlantılardan (multicollinearity) arındırılmış olarak kullanılmıştır. Her akı için değişken çiftler arasındaki doğrusal olmayan monotonik ilişkiler Spearman'ın korelasyon matrisi kullanılarak tanımlanmıştır. Sera gazı akılarının en küçük kareler ortalamaları (least square means - LSM) + standart hatalar (standard error - SE), iki grup arasında veya iki yönlü etkileşim terimleri (20 göl, beş bölge, günün iki değişik zamanı ve iki yanal konum) dahil olmak üzere ikiden fazla grup arasında Student's t-test ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testine göre, sırasıyla tam faktöryel tasarımla iki yönlü varyans analizine (ANOVA) dayalı karşılaştırılmıştır. Göllerin, günlük dönemin ve ıslak-kuru gradyanının sera gazı akıları üzerindeki etkileşim etkileri ve LSM'leri arasındaki önemli farklılıklar, üç yönlü ANOVA ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi kullanılarak elde edilmiştir. LSM değerleri (düzeltilmiş ortalamalar olarak da tanımlanabilir), diğer tüm model faktörleri nötr değerlere ayarlandığında kategorik değişkenlerin belirli bir seviyesi

kombinasyonu için model tarafından tahmin edilen değerlerdir. Bu yaklaşım, ANOVA'da eşit olmayan örneklem büyüklükleri için ayarlandığından tercih edilmiştir.

Üç sera gazı (CH_4 , CO_2 ve N_2O) dış akısını modellemek için rastgele orman (RF, random forest) ve yapay sinir ağları (ANN, artificial neural network) modelleri benimsenmiştir. Bu modellerin inşası ile bağımsız validasyonu (geçerlilik doğrulaması); çoklu doğrudaşlık sorunlarından arındırılmış ve toplamda 14 çevresel kestirici barındıran veri seti üzerinden yapılmıştır. Modelinin validasyon veri setine göre performansları değerlendirildikten sonra sera gazı akılarının maksimum ve minimum miktarlarının olduğu durumlardaki girdi seviyeleri ve bu girdi seviyelerinin akıların maksimum ve minimum durumlarındaki tahminlerinde görece önemleri belirlenmiştir. Tüm istatistiksel analizler JMP Pro 15.1 kullanılarak yapılmıştır.

4. BULGULAR

4.1 Sediman CO₂, CH₄ ve N₂O Akılarının Mekânsallığı

Veri setine ait betimleyici istatistikler Tablo 4.1’de verilmiştir. Çeyrek aralık yöntemine (interquartile range method) göre 15 CH₄, 9 CO₂ ve 21 N₂O ve aykırı değeri tespit edilmiş olup, veri setinden çıkartılmıştır. Çoklu-doğrudaşlık (multicollinearity) sorununu önlemek için Spearman’ın r değeri 0.40’tan yüksek değişken çiftleri veri setinden ayrıca çıkartılmıştır. Toplam 26 açıklayıcı değişkenden sediman kil fraksiyonu (CL) (%), sediman C/N oranı, sediman hidrojen ve kükürt içerikleri (SHC ve SSC) (%), sediman organik karbon stoğu (SOC_{stok}) (Mg C ha⁻¹), sediman pH’ı, sediman redoks potansiyel (RP)(mV), su NH₄⁺-N (mg/L) ve PO₄³⁻-P (mg/L) içerikleri, 3 aylık standardize yağış endeksi (SPI₃), enlem, yükseklik, gün içi örnekleme zamanı (09:00-10:00 ve 16:00-17:00) ve ıslak-kuru değişkenliği olmak üzere 14 girdi bileşeni analizlerde kullanılmıştır. Tüm sera gazı akıları, normal dağılımın bir dönüşümü olan sinh-arcsinh (SHASH) dağılımı özelliği sergilemiştir.

Tablo 4.1. Veri betimleyici istatistikleri

Akı	N	Mean	SD	Minimum	Median	Maximum	IQR
CH ₄ (mmol m ⁻² h ⁻¹)	465	0,14	0,34	0,001	0,026	2,24	0,04
CO ₂ (mmol m ⁻² h ⁻¹)	471	7,86	9,92	0,11	3,29	54,90	9,5
N ₂ O (mmol m ⁻² h ⁻¹)	459	0,001	0,015	0,0005	0,005	0,12	0,007
Değişken							
SPI ₃	40	-0,80	1,48	-3,85	-0,62	3,22	1,86
Enlem (DD)	20	38,96	1,402	36,958	38,639	41,321	2,852
Yükseklik (m)	20	555	489,7	0	800	1200	973
CL (%)	80	9,43	7,75	1,16	5,92	34,36	10,2
C/N	80	31,01	47,25	0,13	11,81	229,78	22,2
SHC (%)	80	0,40	0,38	0,01	0,41	1,55	0,57
SSC (%)	80	0,04	0,12	0,0001	0,02	0,66	0,0006
SOC (Mg C ha ⁻¹)	80	35,70	31,08	2,03	27,54	141,91	46,4
RP (mV)	80	71,48	41,28	-43	69	186	57
pH	80	8,41	0,72	7,1	8,3	10,4	1,0
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	40	0,42	0,7	0,005	0,2	3,01	0,38
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	40	0,25	0,52	0,001	0,07	2,68	0,08
Boylam (DD)	20	30,01	1,82	27,17	29,91	34,37	2,81
SWC (%)	80	41,69	21,6	5,04	40,37	93,08	32,01
Cond (μS cm ⁻¹)	480	753,89	1194,86	35,2	165,8	5604,6	500,1
T _s (°C)	480	26,92	4,51	12,14	26,94	39,74	5,64
P(hPa)	400	1008,62	50,48	886,4	1005,15	1110	40,25
RH (%)	400	50,91	12,75	19,4	36,38	36,38	6,89
SA(%)	80	77,3	12,51	54,53	79,99	98,62	13,66
SI (%)	80	13,27	8,86	0,018	12,11	37,11	13,75
BD (g cm ⁻³)	80	1,12	0,29	0,42	1,11	1,75	0,47
SOC (%)	80	4,88	3,23	0,42	3,74	14,18	4,27
SOM (%)	80	12,43	11,79	0,6	8,8	52,6	17,3
NO ₃ -N (mg/L)	40	0,44	0,64	0,032	0,234	3,48	0,2
TN (mg/L)	40	2,48	2,73	1,68	1,68	15	3,2

CH₄, CO₂ ve N₂O sediman akılarının enlem ile anlamlı pozitif bir ilişkisi gözlenmiştir (sırasıyla $r = 0.185$, $r = 0.399$, ve $r = 0.389$; $p < 0,0001$) (bkz. Tablo 4.2). Her üç sera gazı akısı da yükseklik parametresiyle herhangi bir anlamlı korelasyon göstermemiştir. Sediman ıslak-kuru örnekleme noktalarından belirlenen akılar incelendiğinde; CO₂ ve N₂O akılarının pozitif şekilde (sırasıyla $r = 0,521$ ve $r = 0,163$; $p < 0,0001$) etkilendiği görülürken, CH₄ akıları negatif bir etkileşim göstermiştir ($r = -0,408$; $p < 0,0001$) (bkz. Tablo 4.1.). Sediman ıslak-kuru örnekleme noktaları, sediman su içeriği (SWC, %) parametresi için önemli bir vekil olarak öne çıkmıştır ($r = -0.801$; $p < 0.0001$). Yaş sedimandan kuru sedimana geçişle birlikte sediman organik karbon stoğunu (SOC) (Mg C ha⁻¹) ($r = -0,154$; $p = 0,0007$) ve silt (SI) (%) oranı ($r = -0,117$; $p = 0,0102$) azalırken sediman kil oranı (CL) (%) ($r = 0,164$; $p = 0,0003$) artmıştır (bkz. Tablo 4.3). En güçlü çevresel ilişkiler sırasıyla; CH₄ için SWC (%), CL (%) , PO₄³⁻-P (mg/L), ve NH₄⁺-N (mg/L) (sırasıyla $r = 0,285$; $-0,242$; $0,222$; ve $-0,196$; $p < 0,0001$); CO₂ için, RP (mV), PO₄³⁻-P (mg/L), pH ve SWC (sırasıyla $r = 0,212$; $0,201$; $-0,269$ ve $-0,276$, $p < 0,0001$); ve N₂O için PO₄³⁻-P (mg/L), NH₄⁺-N (mg/L) ve SWC (%) (sırasıyla $r = 0,338$; $0,278$; $-0,259$, $p < 0,0001$) olarak bulunmuştur (bkz. Tablo 4.4).

Tablo 4.2. Sera gazı akıları ($\text{mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$) ile mekânsal ve zamansal etkenler arasında Spearman korelasyon matrisi analizi

Akı	Zamansal ve mekânsal etkenler	<i>r</i>	<i>p</i>
CH ₄	Enlem (DD)	0,185	<0,0001
	Boylam (DD)	0,080	0,0869
	Yükseklik (m)	0,035	0,4485
	Islak-kuru gradyan (2 seviye)	-0,408	<0,0001
	Gün içi periyot (2 seviye)	0,017	0,7124
CO ₂	Enlem (DD)	0,399	<0,0001
	Boylam (DD)	0,035	0,4442
	Yükseklik (m)	-0,140	0,0023
	Islak-kuru gradyan (2 seviye)	0,521	<0,0001
	Gün içi periyot (2 seviye)	0,019	0,6865
N ₂ O	Enlem (DD)	0,389	<0,0001
	Boylam (DD)	0,134	0,004
	Yükseklik (m)	-0,039	0,4107
	Islak-kuru gradyan (2 seviye)	0,163	<0,0001
	Gün içi periyot (2 seviye)	0,181	0,0005

Tablo 4.3. Sera gazı akıları ($\text{mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$) ile kategorik etkenler arasında Spearman'in korelasyon matrisi analizi

Kategorik etkenler	Çevresel etkenler	<i>r</i>	<i>p</i>
Gün içi periyot	RH (%)	-0,220	<0,0001
Gün içi periyot	T _s (°C)	0,487	<0,0001
Gün içi periyot	T _a (°C)	0,452	<0,0001
Islak-kuru gradyan	CL (%)	0,164	0,0003
Islak-kuru gradyan	SWC (%)	-0,801	<0,0001
Islak-kuru gradyan	SOC _{stok}	-0,154	0,0007
Islak-kuru gradyan	T _s (°C)	0,103	0,0239
Islak-kuru gradyan	SI	-0,117	0,0102

Tablo 4.4. Sera gazı akıları ($\text{mmol m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) ile çevresel etkenler arasında Spearman'ın korelasyon matris analizi

Çevresel etkenler	Akı	<i>r</i>	<i>p</i>
SWC (%)	CO ₂	-0.276	<0,0001
pH	CO ₂	-0.269	<0,0001
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	CO ₂	0.201	<0,0001
RP (mV)	CO ₂	0.212	<0,0001
CL (%)	CO ₂	0.163	0.0004
SSC (%)	CO ₂	0.115	0.0124
NO ₃ -N (mg/L)	CO ₂	0.155	0.0012
SPI ₃	CO ₂	0.088	0.0571
SOC _{stock}	CO ₂	-0,082	0,0077
SHC (%)	CO ₂	0,072	0,1185
Sed _{cond}	CO ₂	0,059	0,2000
C/N	CO ₂	0,032	0,5173
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	CO ₂	0,074	0,1223
TN _w	CO ₂	0,072	0,1462
SWC (%)	CH ₄	0.285	<0,0001
CL (%)	CH ₄	-0.242	<0,0001
NH ₄ -N (mg/L)	CH ₄	-0.196	<0,0001
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	CH ₄	0.222	<0,0001
SSC (%)	CH ₄	-0,111	0,0169
SPI ₃	CH ₄	-0,131	0,0046
SHC (%)	CH ₄	-0,095	0,0401
SOC _{stock}	CH ₄	-0,067	0,1448
pH	CH ₄	-0,055	0,2342
RP (mV)	CH ₄	0,012	0,7842
C/N	CH ₄	-0,038	0,4420
Sed _{cond}	CH ₄	0,039	0,5678
TN	CH ₄	-0,059	0,2282
NO ₃ -N (mg/L)	CH ₄	0,029	0,5410
SWC (%)	N ₂ O	-0,259	<0,0001
pH	N ₂ O	-0,233	<0,0001
RP (mV)	N ₂ O	0,109	0,0193
CL (%)	N ₂ O	0,214	<0,0001
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	N ₂ O	0,278	<0,0001
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	N ₂ O	0,338	<0,0001
SOC _{stock}	N ₂ O	-0,156	0,0008
NO ₃ -N (mg/L)	N ₂ O	0,112	0,0208
SHC (%)	N ₂ O	-0,049	0,2897
SPI ₃	N ₂ O	0,001	0,7986
TN (mg/L)	N ₂ O	0,081	0,1058
C/N	N ₂ O	0,052	0,3021
Sed _{cond}	N ₂ O	-0,044	0,4337
SSC (%)	N ₂ O	-0,018	0,6984

Tukey HSD çoklu karşılaştırmalarına göre ortalama sera gazı akılarında tespit edilen önemli mekânsal farklılıklar 20 göl için Tablo 4.5'te, beş ekolojik bölge için Tablo 4.6'da ve göl kıyısı ıslak-kuru arayüzü için Tablo 4.7' de sunulmuştur. Ortalama en düşük ve en yüksek CH₄, CO₂ ve N₂O emisyonları sırasıyla Yarışlı gölünde 0,011 mmol m⁻² h⁻¹'ten Durusu gölünde 0,619 mmol m⁻² h⁻¹'ye, Yarışlı gölünde 0,63 mmol m⁻² h⁻¹'ten Eber gölünde 16,81 mmol m⁻² h⁻¹'ye ve Durusu gölünde 0,002 mmol m⁻² h⁻¹'ten İznik gölünde 0,029 mmol m⁻² h⁻¹'e kadar değişimler göstermiştir (bkz. Tablo 4.5). Marmara bölgesi göllerinden ortalama CH₄ akısı Akdeniz, İç Anadolu, Ege ve Karadeniz göllerinden salınan akılardan daha fazla olmakla birlikte, bu gazın Karadeniz bölgesinde yer alan göllerden salınan akısı en düşük bölgesel akı olarak öne çıkmıştır (bkz. Tablo 4.6) Marmara ve İç Anadolu göllerinden gelen benzer ortalama CO₂ akılarının, Ege, Karadeniz ve Akdeniz göllerindekinin yaklaşık 2,5 ile 3,5 katı arasında olduğu hesaplanmıştır. En yüksek N₂O akıları Karadeniz ve Marmara bölgesi göllerinde birbirine nispeten yakın seviyelerde ve İç Anadolu, Akdeniz ve Ege bölgelerinden daha yüksek seviyelerde ölçülmüştür (bkz. Tablo 4.6). Ortalama olarak, ıslak sedimanlar, kuru sedimanların daha fazla CH₄ salınımı yaparken ($p < 0,0001$), CO₂ akılarının sayısal ortalaması kuru sedimanlarda ıslağa göre yaklaşık 3,2 kat daha yüksek olduğu ($p < 0,0001$) görülmüştür. N₂O akıları ise CO₂'ye benzer şekilde kuru sedimanlarda ıslağa göre 2 kat daha yüksektir ($p < 0,0001$) (bkz. Tablo 4.7).

Tablo 4.5. 20 gölden salıverilen CH₄, CO₂ ve N₂O akılarının (en küçük kareler ortalama $\pm$ standart hata mmol m⁻² h⁻¹) Tukey HSD çoklu karşılaştırma testine göre mekânsal farklılıkları ($p < 0,0001$).

Göl	Ort CH ₄	Ort CO ₂	Ort N ₂ O
Mogan	0,024 $\pm$ 0,062 ^{de}	3,94 $\pm$ 1,67 ^{efg}	0,007 $\pm$ 0,003 ^{de}
Seyfe	0,016 $\pm$ 0,062 ^e	9,58 $\pm$ 1,67 ^{bcdef}	0,009 $\pm$ 0,003 ^{bcde}
Isikli	0,176 $\pm$ 0,062 ^{bcde}	4,36 $\pm$ 1,67 ^{defg}	0,005 $\pm$ 0,003 ^{de}
Karatas	0,330 $\pm$ 0,062 ^{abcd}	4,76 $\pm$ 1,67 ^{defg}	0,020 $\pm$ 0,003 ^{abc}
Salda	0,004 $\pm$ 0,062 ^{cde}	0,90 $\pm$ 1,67 ^g	0,003 $\pm$ 0,003 ^e
Yarisli	0,011 $\pm$ 0,062 ^e	0,63 $\pm$ 1,67 ^g	0,004 $\pm$ 0,003 ^{de}
Golkoy	0,145 $\pm$ 0,062 ^{bcde}	6,69 $\pm$ 1,67 ^{cdef}	0,024 $\pm$ 0,005 ^a
Yenicaga	0,034 $\pm$ 0,062 ^{cde}	4,06 $\pm$ 1,67 ^{efg}	0,014 $\pm$ 0,003 ^{abcde}
Eber	0,272 $\pm$ 0,078 ^{abcde}	16,81 $\pm$ 1,79 ^b	0,009 $\pm$ 0,003 ^{bcde}
Egirdir	0,104 $\pm$ 0,062 ^{bcde}	1,79 $\pm$ 1,67 ^{fg}	0,004 $\pm$ 0,003 ^{de}
Beysehir	0,340 $\pm$ 0,062 ^{abc}	11,6 $\pm$ 1,67 ^{bcde}	0,007 $\pm$ 0,003 ^{cde}
Iznik	0,373 $\pm$ 0,062 ^{ab}	27,55 $\pm$ 1,93 ^a	0,029 $\pm$ 0,003 ^a
Ulubat	0,202 $\pm$ 0,062 ^{bcde}	8,065 $\pm$ 1,67 ^{cdefg}	0,022 $\pm$ 0,003 ^{ab}
Sapanca	0,022 $\pm$ 0,062 ^{de}	10,35 $\pm$ 1,67 ^{bcde}	0,007 $\pm$ 0,003 ^{cde}
Manyas	0,101 $\pm$ 0,071 ^{bcde}	14,61 $\pm$ 1,67 ^{bc}	0,005 $\pm$ 0,003 ^{de}
Marmara	0,023 $\pm$ 0,062 ^{de}	3,78 $\pm$ 1,67 ^{efg}	0,010 $\pm$ 0,003 ^{bcde}
Karine	0,015 $\pm$ 0,062 ^e	6,75 $\pm$ 1,67 ^{cdefg}	0,003 $\pm$ 0,003 ^{de}
Bafa	0,022 $\pm$ 0,062 ^{de}	6,47 $\pm$ 1,67 ^{cdfg}	0,007 $\pm$ 0,003 ^{de}
Koycegiz	0,023 $\pm$ 0,062 ^{de}	7,92 $\pm$ 1,67 ^{cdefg}	0,003 $\pm$ 0,003 ^e
Durusu	0,619 $\pm$ 0,062 ^a	6,69 $\pm$ 1,67 ^{cdefg}	0,002 $\pm$ 0,003 ^{abcd}

Tablo 4.6. CH₄, CO₂, ve N₂O akılarının (en küçük kareler ortalama $\pm$ standart hata mmol m⁻² h⁻¹) 5 coğrafi bölge arası mekânsallığının Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi ile incelenmesi ($p < 0,0001$).

Bölge	Ort CH ₄	Ort CO ₂	Ort N ₂ O
Marmara	0,272 $\pm$ 0,030 ^a	13,94 $\pm$ 0,86 ^a	0,015 $\pm$ 0,001 ^a
İç Anadolu	0,080 $\pm$ 0,041 ^b	9,81 $\pm$ 1,10 ^b	0,008 $\pm$ 0,002 ^b
Akdeniz	0,165 $\pm$ 0,030 ^{ab}	3,94 $\pm$ 0,84 ^c	0,008 $\pm$ 0,001 ^b
Ege	0,052 $\pm$ 0,030 ^b	5,85 $\pm$ 0,84 ^c	0,006 $\pm$ 0,001 ^b
Karadeniz	0,009 $\pm$ 0,045 ^b	5,37 $\pm$ 1,32 ^{bc}	0,020 $\pm$ 0,002 ^a

Tablo 4.7. Student's *t* ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testlerine göre CH₄, CO₂ ve N₂O akılarının (en küçük kareler ortalama $\pm$ standart hata mmol m⁻² h⁻¹) ıslak-kuru ($p < 0,0001$), sabah-öğleden sonra ($p > 0,05$) ve bu iki faktörün etkileşimi için farklılıkları ($p > 0,05$).

Islak-Kuru	Ort CH ₄	Ort CO ₂	Ort N ₂ O
Islak	0,254 $\pm$ 0,021 ^a	3,80 $\pm$ 0,58 ^b	0,007 $\pm$ 0,0001 ^b
Kuru	0,038 $\pm$ 0,021 ^b	12,00 $\pm$ 0,60 ^a	0,014 $\pm$ 0,0001 ^a
9-10 am	0,144 $\pm$ 0,021 ^a	7,68 $\pm$ 0,59 ^a	0,010 $\pm$ 0,0001 ^a
16-17 pm	0,149 $\pm$ 0,021 ^a	8,20 $\pm$ 0,59 ^a	0,011 $\pm$ 0,0001 ^a
9-10 am ıslak	0,247 $\pm$ 0,031 ^a	3,45 $\pm$ 0,83 ^b	0,005 $\pm$ 0,0013 ^b
9-10 am kuru	0,040 $\pm$ 0,029 ^b	11,89 $\pm$ 0,84 ^a	0,015 $\pm$ 0,0013 ^a
16-17 pm ıslak	0,262 $\pm$ 0,030 ^a	4,15 $\pm$ 0,83 ^b	0,008 $\pm$ 0,0013 ^b
16-17 pm kuru	0,035 $\pm$ 0,029 ^b	12,26 $\pm$ 0,87 ^a	0,013 $\pm$ 0,0014 ^a

4.2 Sediman CO₂, CH₄ ve N₂O Akılarının Zamansal Dinamikliği

Sera gazı akılarının N₂O dışında günlük zaman dilimi ile anlamlı bir ilişkisi bulunamamıştır (bkz. Tablo 4.2). N₂O akısı, sabahtan (09:00-10:00) öğleden sonraya (16:00-17:00 pm) ($r = 0,181$; $p = 0,0005$) günlük dönemdeki değişimle anlamlı bir pozitif korelasyon sergilemiştir. Sabahtan öğleden sonraya günlük geçişin, sediman sıcaklığı artışını ($r = 0,487$; $p < 0,0001$) ve azalan bağıl nemi ($r = -0,220$; $p = < 0,0001$) ayrıca etkilediği görülmüştür (bkz. Tablo 4.3). İstatistiksel olarak anlamlı olmasa da ($p > 0,05$), her üç sera gazı ortalama öğleden sonra akıları, tüm göl kıyısı sedimanları boyunca ortalama sabah akılarından daha yüksek seviyelerde ölçülmüştür (bkz. Tablo 4.7). 20 göl kıyısında ortalama kuru ve ıslak sediman akıları gün içi zaman faktörü ile birlikte değerlendirildiğinde, akıların ıslak sedimanda sabah saatlerinde daha yüksekken, diğer iki gaz için belirlenen akılar öğleden sonraki ölçümlerde daha yüksek seviyelerdedir. Kuru sediman sera gazı akılarında ise CH₄ ve N₂O sabah saatlerinde öğleden sonraya göre daha yüksekken, CO₂ akıları tam tersine, öğleden sonraki ölçümlerde daha yüksek seviyelerde belirlenmiştir (bkz. Tablo 4.7).

Göller kendi arasında sera gazı akılarının gün içi değişimi bakımından ayrı ayrı karşılaştırıldığında, en yüksek ve en düşük CH₄ akıları Eber göl kıyısı sedimentinden öğleden sonra kaydedilen ortalama (0,336 mmol m⁻² h⁻¹) ile Köyceğiz'den belirlenen ortalama öğleden sonrası akılar (0,035 mmol m⁻² h⁻¹) olarak öne çıkmıştır (bkz. Tablo 4.8). CO₂ akılarının en düşük ve en yüksek değerleri ise Köyceğiz gölünden öğleden sonrası periyotta belirlenen 0,23 $\pm$ 2,61

mmol m⁻² h⁻¹ ve İznik'ten yine öğleden sonra elde edilen 26,54 ± 2,61 mmol m⁻² h⁻¹ olarak belirlenmiştir. Son olarak en düşük N₂O akıları sırasıyla 0,002 ± 0,006 mmol m⁻² h⁻¹ değerle Salda, Karine ve Köyceğiz göllerinin her üçünde de öğleden sonra, ve en yüksek değeri 0,043 ± 0,006 mmol m⁻² h⁻¹ ile Durusu gölünde yine öğleden sonrası periyodunda ölçülmüştür (bkz. Tablo 4.8).

Eber gölü için kaydedilen hafif negatif CH₄ akı değeri ve İznik gölü için kaydedilen küçük negatif N₂O akı LSM değerleri ortaya çıkmıştır (bkz. Tablo 4.8). Bu küçük negatif LSM değerleri, 20 gölden elde edilen tekrarlı akıların oluşturduğu veri setinden aykırı değerlerin çıkarılmasıyla kayıp sera gazı akı değerlerinin oluşmasından kaynaklanmıştır. Bu sebeple bu iki göle ait negatif CH₄ ve N₂O LSM değerleri tablo üzerinde gösterilmekle birlikte değerlendirmeye alınmamıştır.

Tablo 4.8. Tukey HSD çoklu karşılaştırma testine göre CH₄, CO₂ and N₂O akıların (en küçük kareler ortalama $\pm$ standart hata mmol m⁻² h⁻¹) göller arasında zamansal olarak farklılıkları ($p = 0,9922$, $=0,4618$ ve $= 0,0006$).

Göl	Gün içi periyot	Ort CH ₄	Ort CO ₂	Ort N ₂ O
Sapanca	9-10 am	0.149 $\pm$ 0,070 ^a	6,90 $\pm$ 2,03 ^a	0,008 $\pm$ 0,003 ^b
	16-17 pm	0.135 $\pm$ 0,070 ^a	8,74 $\pm$ 2,03 ^a	0,012 $\pm$ 0,003 ^b
Mogan	9-10 am	0.149 $\pm$ 0,070 ^a	8,18 $\pm$ 2,03 ^a	0,009 $\pm$ 0,003 ^b
	16-17 pm	0.135 $\pm$ 0,070 ^a	7,47 $\pm$ 2,03 ^a	0,011 $\pm$ 0,003 ^b
Seyfe	9-10 am	0.146 $\pm$ 0,070 ^a	4,41 $\pm$ 2,03 ^a	0,009 $\pm$ 0,003 ^b
	16-17 pm	0.137 $\pm$ 0,070 ^a	11,23 $\pm$ 2,03 ^a	0,012 $\pm$ 0,003 ^b
Salda	9-10 am	0.146 $\pm$ 0,070 ^a	8,09 $\pm$ 2,03 ^a	0,010 $\pm$ 0,003 ^b
	16-17 pm	0.137 $\pm$ 0,070 ^a	7,56 $\pm$ 2,03 ^a	0,010 $\pm$ 0,003 ^b
Karataş	9-10 am	0.183 $\pm$ 0,070 ^a	7,63 $\pm$ 2,03 ^a	0.014 $\pm$ 0,003 ^{ab}
	16-17 pm	0.100 $\pm$ 0,070 ^a	8,01 $\pm$ 2,03 ^a	0.006 $\pm$ 0,003 ^{bc}
Yarışlı	9-10 am	0.146 $\pm$ 0,070 ^a	8,01 $\pm$ 2,03 ^a	0.010 $\pm$ 0,003 ^b
	16-17 pm	0.137 $\pm$ 0,070 ^a	7,63 $\pm$ 2,03 ^a	0.010 $\pm$ 0,003 ^b
Işıklı	9-10 am	0.122 $\pm$ 0,070 ^a	7,71 $\pm$ 2,03 ^a	0.093 $\pm$ 0,003 ^b
	16-17 pm	0.161 $\pm$ 0,070 ^a	7,93 $\pm$ 2,03 ^a	0.011 $\pm$ 0,003 ^b
Eber	9-10 am	0,153 $\pm$ 0,087 ^a	13,20 $\pm$ 2,14 ^a	0.079 $\pm$ 0,003 ^b
	16-17 pm	-0,053 $\pm$ 0,087 ^a	2,44 $\pm$ 2,17 ^a	0.012 $\pm$ 0,005 ^b
Eğirdir	9-10 am	0,161 $\pm$ 0,070 ^a	8,11 $\pm$ 2,03 ^a	0.009 $\pm$ 0,003 ^b
	16-17 pm	0,123 $\pm$ 0,070 ^a	7,54 $\pm$ 2,03 ^a	0,011 $\pm$ 0,003 ^b
Beyşehir	9-10 am	0.086 $\pm$ 0,070 ^a	8,75 $\pm$ 2,03 ^a	0.008 $\pm$ 0,003 ^b
	16-17 pm	0.197 $\pm$ 0,070 ^a	6,89 $\pm$ 2,03 ^a	0.012 $\pm$ 0,003 ^b
Marmara	9-10 am	0.149 $\pm$ 0,070 ^a	7,69 $\pm$ 2,03 ^a	0.011 $\pm$ 0,003 ^b
	16-17 pm	0.134 $\pm$ 0,070 ^a	7,95 $\pm$ 2,03 ^a	0.009 $\pm$ 0,003 ^b
Manyas	9-10 am	0.150 $\pm$ 0,080 ^a	9,45 $\pm$ 2,03 ^a	0.008 $\pm$ 0,003 ^b
	16-17 pm	0.133 $\pm$ 0,080 ^a	6,20 $\pm$ 2,03 ^a	0.012 $\pm$ 0,003 ^{ab}
Ulubat	9-10 am	0.180 $\pm$ 0,070 ^a	7,27 $\pm$ 2,03 ^a	0.007 $\pm$ 0,003 ^{bc}
	16-17 pm	0.103 $\pm$ 0,070 ^a	8,37 $\pm$ 2,03 ^a	0.013 $\pm$ 0,003 ^{ab}
İznik	9-10 am	0.185 $\pm$ 0,070 ^a	1,27 $\pm$ 2,31 ^a	0,030 $\pm$ 0,003 ^a
	16-17 pm	0.321 $\pm$ 0,135 ^a	26.54 $\pm$ 2.61 ^a	-0,010 $\pm$ 0,003 ^b
Durusu	9-10 am	0.166 $\pm$ 0,022 ^a	7.08 $\pm$ 0.42 ^a	0.013 $\pm$ 0,001 ^c
	16-17 pm	0.143 $\pm$ 0,033 ^a	7.10 $\pm$ 2.61 ^a	0.043 $\pm$ 0,006 ^a
Bafa	9-10 am	0.166 $\pm$ 0,022 ^a	7.08 $\pm$ 0.42 ^a	0.013 $\pm$ 0,001 ^c
	16-17 pm	0.035 $\pm$ 0,135 ^a	6.06 $\pm$ 2.61 ^a	0.013 $\pm$ 0,006 ^{abc}
Karine	9-10 am	0.166 $\pm$ 0,022 ^a	7.08 $\pm$ 0.42 ^a	0.013 $\pm$ 0,001 ^c
	16-17 pm	0.136 $\pm$ 0,135 ^a	1.35 $\pm$ 2.61 ^a	0.002 $\pm$ 0,006 ^c
Koycegiz	9-10 am	0.166 $\pm$ 0,022 ^a	7.08 $\pm$ 0.42 ^a	0.013 $\pm$ 0,001 ^c
	16-17 pm	0.035 $\pm$ 0,135 ^a	0.23 $\pm$ 2.61 ^a	0.002 $\pm$ 0,006 ^c
Yenicaga	9-10 am	0.166 $\pm$ 0,022 ^a	7.08 $\pm$ 0.42 ^a	0.013 $\pm$ 0,001 ^c
	16-17 pm	0.060 $\pm$ 0,135 ^a	6.25 $\pm$ 2.61 ^a	0.013 $\pm$ 0,006 ^{abc}
Golkoy	9-10 am	0.166 $\pm$ 0,022 ^a	7.08 $\pm$ 0.42 ^a	0.013 $\pm$ 0,001 ^c
	16-17 pm	0.260 $\pm$ 0,135 ^a	7.58 $\pm$ 2.61 ^a	0.011 $\pm$ 0,006 ^{abc}

Beş coğrafi bölge arasında, en yüksek CH₄, CO₂ ve N₂O akıları sırasıyla 0,325 ± 0,032 mmol m⁻² h⁻¹ ile Marmara bölgesi göllerinde sabah periyodu, 12,05 ± 1,26 mmol m⁻² h⁻¹ ile Akdeniz bölgesi gölleri sabah periyodu, ve 0,024 ± 0,002 mmol m⁻² h⁻¹ ile yine Karadeniz bölgesi göllerinde öğleden sonrası periyodunda ölçülmüştür (bkz. Tablo 4.9). Bu üç gazın en düşük akıları ise sırasıyla 0,044 ± 0,041 mmol m⁻² h⁻¹ ile Karadeniz sabah periyodu, 3,65 ± 1,23 mmol m⁻² h⁻¹ ile Karadeniz bölgesi öğleden sonrası periyodu ve 0,007 ± 0,002 mmol m⁻² h⁻¹ ile Karadeniz bölgesi sabah periyotlarında ölçülmüştür (bkz. Tablo 4.9). N₂O akılarının en yüksek ve en düşük değerlerinin bölgesel ve zamansal değişiminde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmezken, CH₄ ve CO₂ akıları anlamlı farklılıklar göstermemiştir.

Tablo 4.9. Beş coğrafi bölgede CH₄, CO₂, and N₂O akılarının (en küçük kareler ortalama ± standart hata mmol m⁻² h⁻¹) gün içi periyoda göre zamansal değişiminin Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi ile bölgeler özelinde ve bölgeler arasında karşılaştırılması ($p < 0,0001$, $p = 0,0024$, ve $p = 0,1584$).

Bölge	Gün içi periyot	Ort CH ₄	Ort CO ₂	Ort N ₂ O
Marmara	9-10	0,325 ± 0,032 ^a	6,68 ± 0,95 ^{bc}	0,010 ± 0,002 ^a
Marmara	16-17	0,137 ± 0,032 ^{bcde}	9,08 ± 0,97 ^{ab}	0,011 ± 0,002 ^a
İç Anadolu	9-10	0,089 ± 0,039 ^{def}	6,28 ± 1,12 ^{bc}	0,012 ± 0,002 ^a
İç Anadolu	16-17	0,199 ± 0,038 ^{abd}	9,48 ± 1,13 ^{ab}	0,008 ± 0,001 ^a
Akdeniz	9-10	0,153 ± 0,031 ^{bcde}	8,24 ± 0,95 ^{ab}	0,009 ± 0,001 ^a
Akdeniz	16-17	0,135 ± 0,032 ^{bcde}	7,52 ± 0,94 ^{bc}	0,011 ± 0,001 ^a
Ege	9-10	0,110 ± 0,031 ^{de}	6,09 ± 0,95 ^{bc}	0,012 ± 0,001 ^a
Ege	16-17	0,178 ± 0,032 ^{bd}	9,67 ± 0,94 ^{ab}	0,008 ± 0,001 ^a
Karadeniz	9-10	0,044 ± 0,041 ^{cef}	12,12 ± 1,24 ^a	0,007 ± 0,002 ^a
Karadeniz	16-17	0,244 ± 0,042 ^{abc}	3,65 ± 1,23 ^c	0,013 ± 0,002 ^a

4.3 Sediman CO₂, CH₄ ve N₂O Salınımları Üzerinde Çok Yönlü Etkileşimlerin Belirlenmesi

Tablo 4.10'daki üç yönlü ANOVA sonuçlarına göre, göl, günlük dönem ve ıslak-kuru gradyan arasındaki etkileşim CH₄, CO₂ ve N₂O akıları üzerinde önemli bir etki yaratmamıştır (sırasıyla F-değeri 0,497; df = 19; $p = 0,964$; F-değeri = 0,489; df = 19; $p = 0,967$; ve F-değeri = 1,58; df = 19; $p = 0,06$). Negatif LSM değerleri, Eber ve İznik'te ölçülen CH₄ ve N₂O akılarının bazı tekrarları için eksik değerleri içermesi sebebiyle ortaya çıkmıştır (bkz. Tablo 4.10).

4.4 Sediman CO₂, N₂O ve CH₄ Akılarının Doğrusal Olmayan G d leyicileri

Akılar, enlem ve ıslak-kuru gradyan mekânsal bileşenleri arasında tespit edilen önemli ilişkiler akılar ve bunlara sebep olan sürücülerin arasındaki ilişkilerin daha ileri (polimonsal) bir incelemesinin yolunu açmaktadır. Güneyden kuzeye ve ıslak-kuru gradyanlardaki benzer enlemlerdeki g llerden CO₂ ve CH₄ akılarına kübik bir C/N oranı fonksiyonu yerleştirilmesi, kuru sedimanlardan CO₂ ve CH₄ emisyonlarındaki varyasyonların sırasıyla maksimum %60,8'ini açıkladığı görülmüştür (bkz. Tablo 4.11). CO₂ ve CH₄ akılarının varyasyonları ise minimum seviyelerde (sırasıyla %4,3 ve %6,9) açıkladığı görülmüştür. N₂O akısı emisyonlarındaki kübik bir C/N oranı fonksiyonu yerleştirilmesi benzer enlemdeki g llerden kuru sedimanlardan N₂O emisyonlarındaki varyasyonların sırasıyla maksimum %87,2'sini, minimum ise ıslak sedimanlardan %8'ini açıklamıştır (bkz. Tablo 4.11).

Kübik fonksiyon ile açıklanan ilişkilere göre, pH seviyesi kuru sedimanlardan CO₂ akılarının maksimum %69,9'unu, ıslak sedimanlardan CH₄ ve N₂O akılarının ise sırasıyla maksimum %70,0 ve %80,9'unu açıkladığı görülmüştür (bkz. Tablo 4.11).

CO₂, CH₄ ve N₂O akılarının SHC (%) ile doğrusal olmayan bağımlılığı kuru ve ıslak sedimanlar için sırasıyla maksimum %79,8; %62,8 ve %50,2 ile minimum %10,5; %13,3 ve %6,5 arasında değişen r^2_{adj} değerlerini ortaya koymuştur (bkz. Tablo 4.11).

SPI₃' n kübik fonksiyonuyla, kuru ve ıslak sedimanlar için maksimum CO₂, CH₄ ve N₂O akı varyasyonlarının sırasıyla %62,6; %63,7 ve %74,2'si açıklanırken, açıklanan minimum varyasyonlar bu üç sera gazı için sırasıyla %4,1; %3,9 ve %6,3 olmuştur (bkz. Tablo 4.11).

Tablo 4.11 incelendiğinde PO₄³⁻-P içeriklerinin ıslak-kuru gradyan ve enlem de i imlerinde sera gazı akılarında gözlemlenen varyasyonlara maksimum ve minimum etkilerini ifade eden r^2_{adj} değerleri sırasıyla CO₂ için %85,7 ve %11,0; N₂O için %90,1 ve %10,8 ve CH₄ için %84,8 ve %3,1 değerleri arasında de i mi tir.

CO₂, N₂O ve CH₄ akılarının kil içeriğiyle doğrusal olmayan ilişkisi, kuru ve ıslak sedimanlar için sırasıyla maksimum %89,0; %84,8 ve %86,2 için, minimum %8,3; %8,1 ve %14,2 arasında de i mi tir (bkz. Tablo 4.11).

NH_4^+ -N'in kübik fonksiyonuyla, kuru ve ıslak sedimanlar için maksimum CO_2 , CH_4 ve N_2O akı varyasyonlarının sırasıyla %67,6; %68,4 ve %84,8'i açıklanırken, açıklanan minimum varyasyonlar bu  sera gazı için sırasıyla %6,8; %2,8 ve %5,1 olmuştur (bkz. Tablo 4.11).

CO_2 , CH_4 ve N_2O akılarının redoks potansiyeline doğrusal olmayan bağımlılığı kuru ve ıslak sedimanlar için sırasıyla maksimum %78,5; %86,5 ve %88,9 ile minimum %5,2; %8,2 ve %1,2 arasında değişen r^2_{adj} değerlerini ortaya koymuştur (bkz. Tablo 4.11).

SSC (%)'nin kübik fonksiyonuyla ise ıslak sedimanlar için benzer enleme sahip göllerde, CO_2 , CH_4 ve N_2O akı varyasyonlarının sırasıyla maksimum %62,9; %84,4 ve %79,0'ını açıklamıştır (bkz. Tablo 4.11).

Tablo 4.11. 10 çevresel faktörün CO₂, N₂O ve CH₄ akılarına enlemsel ve ıslak-kuru gradyanlar boyunca etkileşiminin kübik fonksiyon uyumuna dayalı olarak hesaplanmış tahmin katsayısı (r^2_{adj} , %) değerleri.

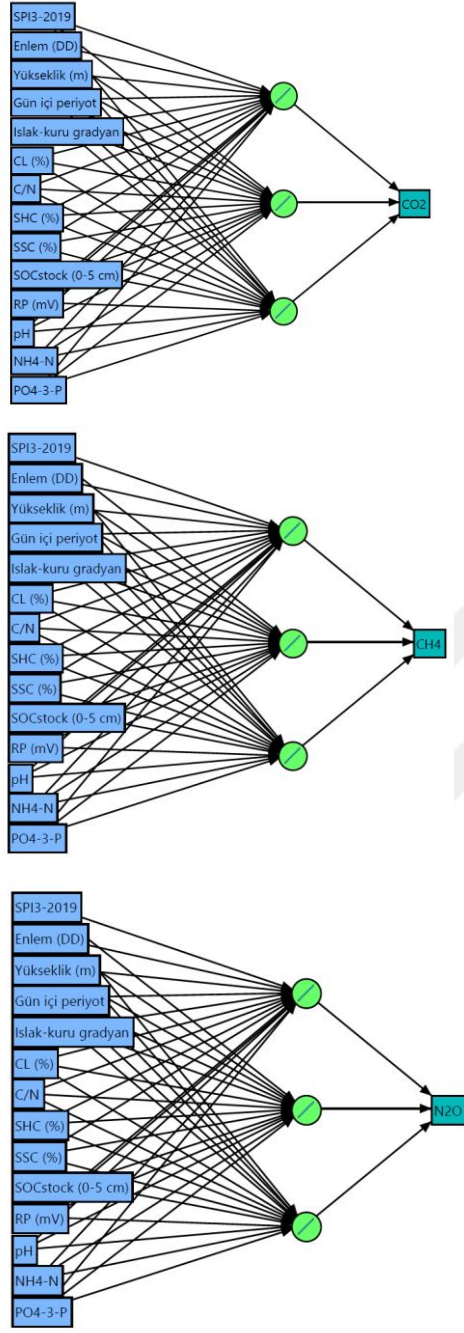
Yanıt	Faktör	Islak-kuru etkileşimine bağlı enlem (DD)									
		36.958-37.567		37.567-38.203		38.203-39.740		39.740-40.705		40.705-41.321	
		Islak	Kuru	Islak	Kuru	Islak	Kuru	Islak	Kuru	Islak	Kuru
CO ₂	C/N	31,8	37,5	16,2	20,0	31,9	37,1	14,3	60,8	4,3	25,4
CH ₄	C/N	27,9	75,0	6,9	39,7	40,3	48,0	44,0	13,0	17,2	10,9
N ₂ O	C/N	52,4	10,3	59,7	20,8	72,6	12,3	87,2	8,0	32,7	39,8
CO ₂	pH	14,2	51,3	53,9	33,6	35,4	58,3	55,5	41,1	29,8	69,9
N ₂ O	pH	15,3	48,2	27,7	29,7	70,0	11,4	17,4	62,1	3,6	44,8
CH ₄	pH	17,1	29,1	80,9	16,8	57,9	50,4	65,3	16,3	62,8	15,2
CO ₂	SHC	28,7	36,3	15,6	32,8	40,8	17,5	79,8	33,5	22,2	10,5
CH ₄	SHC	48,7	30,8	18,3	33,2	13,5	17,4	62,8	24,9	50,6	13,3
N ₂ O	SHC	18,4	50,7	48,4	6,5	31,4	50,0	45,1	37,8	25,7	9,9
CO ₂	SPI ₃	15,4	33,9	62,6	45,2	4,1	20,3	16,7	15,1	37,2	56,8
CH ₄	SPI ₃	6,5	8,1	25,8	63,7	26,0	30,9	29,3	3,9	43,3	53,2
N ₂ O	SPI ₃	30,3	8,6	10,5	28,9	21,8	33,8	6,3	15,1	13,0	74,2
CO ₂	PO ₄ ³⁻ -P	21,8	19,6	43,8	59,7	67,2	85,7	39,5	77,0	11,0	40,1
N ₂ O	PO ₄ ³⁻ -P	57,2	16,7	36,0	63,2	29,9	20,1	81,1	90,1	10,8	29,5
CH ₄	PO ₄ ³⁻ -P	19,1	21,1	84,8	62,7	67,9	69,9	65,2	3,1	19,0	21,3
CO ₂	CL	8,3	52,5	15,7	89,0	65,7	35,6	15,2	84,5	29,5	36,7
N ₂ O	CL	32,2	25,6	57,2	14,3	14,2	26,1	72,1	86,2	27,7	19,5
CH ₄	CL	10,6	28,1	24,6	56,7	72,9	39,4	18,6	8,9	26,6	8,1
CO ₂	NH ₄ ⁺ -N	20,2	40,0	17,3	43,9	67,6	38,9	19,6	6,8	12,2	20,4
CH ₄	NH ₄ ⁺ -N	13,6	64,6	11,5	68,4	57,3	47,5	18,7	2,8	28,7	43,1
N ₂ O	NH ₄ ⁺ -N	50,0	5,1	18,9	12,2	76,4	55,4	84,8	18,9	6,6	70,2
CO ₂	SOCstok	96,7	16,7	15,7	5,4	28,2	74,9	78,9	20,7	13,3	52,0
CH ₄	SOCstok	96,4	94,4	32,5	57,4	66,2	63,5	59,3	10,6	37,5	12,8
N ₂ O	SOCstok	8,0	43,3	16,0	12,4	21,5	3,5	90,3	86,1	19,5	58,4
CO ₂	RP	15,4	16,5	5,2	70,9	78,5	53,6	12,2	33,9	48,9	72,0
CH ₄	RP	8,4	16,7	34,0	10,0	86,5	63,4	36,2	11,4	25,6	30,4
N ₂ O	RP	55,8	5,7	49,1	33,1	53,9	11,0	42,8	88,9	26,4	51,4
N ₂ O	SSC	54,9	12,2	17,8	5,8	13,8	47,3	62,9	12,3	33,9	1,2
CO ₂	SSC	15,1	81,8	8,6	37,9	43,5	16,2	84,4	7,5	5,6	62,4
CH ₄	SSC	8,1	8,8	9,5	49,8	24,4	21,3	79,0	3,2	0,2	6,9

4.5 CO₂, CH₄ ve N₂O Akılarının Çevresel Etmenlere Bağlı Yapay Sinir Ağı (Artificial Neural Network - ANN) ve Rastgele Orman (Random Forest – RF) Yaklaşımlarıyla Modellenmesi

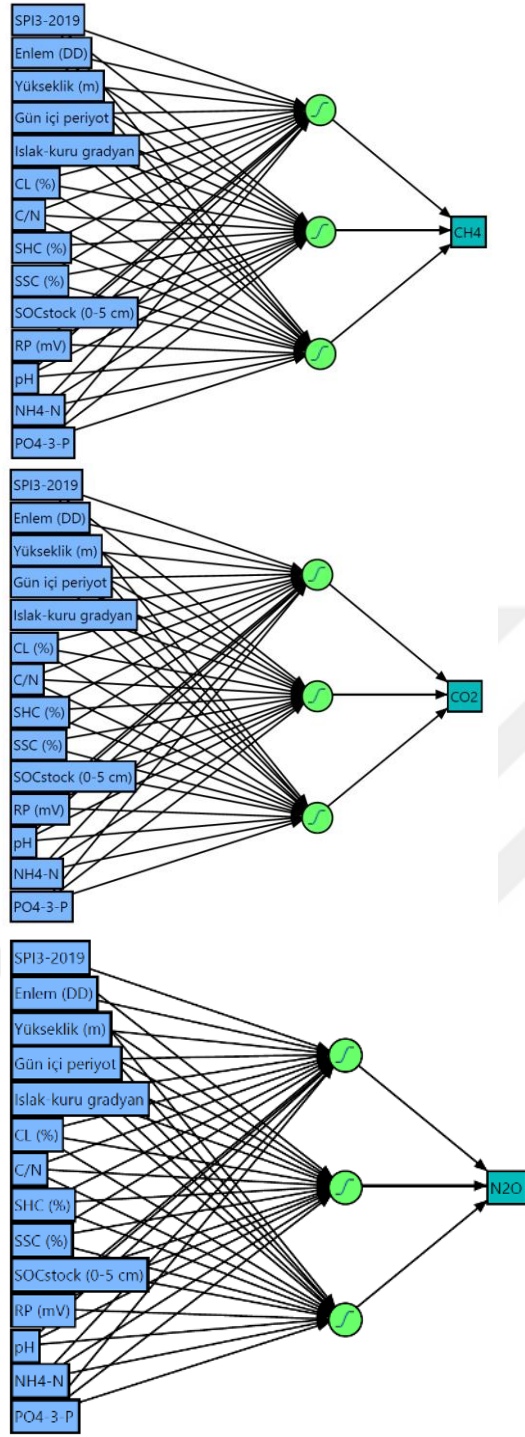
Üç sera gazı (CH₄, CO₂ ve N₂O, mmol m⁻² h⁻¹) dış akısını (efflux) modellemek için rastgele orman (RF, random forest) ve yapay sinir ağları (ANN, artificial neural network) modelleri kullanılmıştır. Her üç sera gazı için ayrı ayrı üç farklı aktivasyon fonksiyonu (hiperbolik tanjant (TanH), doğrusal (Linear), Gaussian (Gaussian)) kullanılarak ANN modelleri inşa edilmiştir. Bu modellerin inşası ile bağımsız validasyonu (geçerlilik doğrulaması); çoklu doğrudaşlık sorunlarından arındırılmış ve toplamda 14 çevresel kestirici barındıran veri seti üzerinden yapılmıştır. İki gündüz periyodu (sabah ile öğleden sonra) ile iki sediman nem seviyesi (ıslak ile kuru) referans alınarak tüm veri seti eğitim ve bağımsız validasyon veri setlerine bölünmüştür ve aynı zamanda referans alınan faktörlerin bu iki veri setindeki dengeli temsiliyetleri sağlanmıştır. Modelleme validasyon yöntemi olarak engelli (holdback) doğrulama yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımda orijinal verileri eğitim ve doğrulama kümelerine rastgele bölünmektedir. Doğrulama kümesi olarak kullanılacak orijinal verilerin oranı ise kullanıcı tarafından belirlenir. Rastgele seçim, basit rastgele örneklemeyle dayalı olanlardan daha dengeli eğitim ve doğrulama setleri oluşturmaya çalışmak için model faktörleri arasında tabakalı örneklemeyle dayanmaktadır. Yapılan analizde engel oranı (holdback proportion) 1/3 olarak belirlenmiştir.

Karşılaştırmaları daha anlamlı kılmak adına, tüm modellerde aynı 14 kestirici ve aynı eğitim ile validasyon oranı kullanılmıştır. 14 kestiriciden ikisi olan gündüz periyodu ve sediment nem seviyesi kategorik değişkenler olarak diğerleri ise sürekli değişkenler olarak üç modele dâhil edilmiştir.

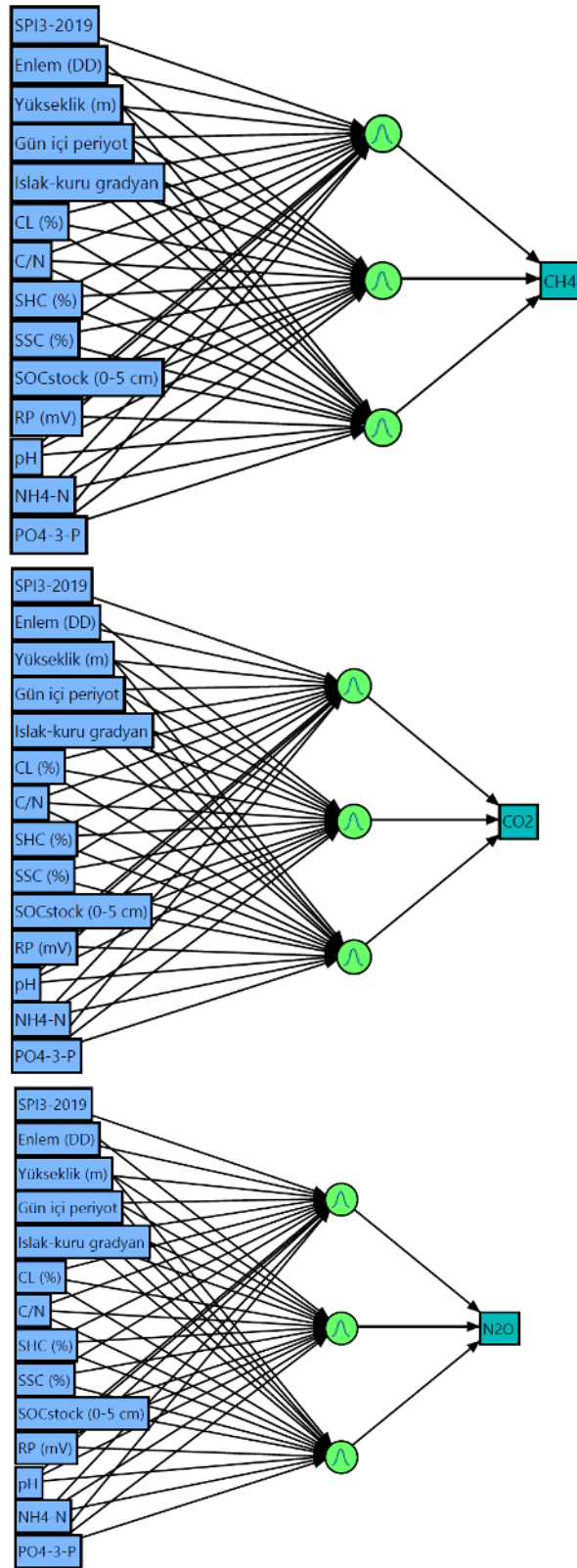
CH₄, CO₂ ve N₂O akıları için ANN modellerinin mimarileri Şekil 4.1 (ANN(Doğrusal)), Şekil 4.2 (ANN(TanH)) ve Şekil 4.3'te (ANN(Gaussian)) gösterilmektedir. ANN modellerinin inşasında tek gizil katman, her katman için üç neuron, 0.1 öğrenme oranı ve karesini alma cezalandırma yöntemi kullanılmıştır. Her üç sera gazına ait ANN modellerinin eğitim ve validasyon veri setine göre performansları Tablo 4.12 (ANN(Doğrusal)), Tablo 4.13 (ANN(TanH)) ve Tablo 4.14'te (ANN(Gaussian)) verilmiştir.



Şekil 4.1. ANN (Doğrusal) modellerinin mimarisi



Şekil 4.2. ANN (TanH) modellerinin mimarisi



Şekil 4.3. ANN (Gausyan) modellerinin mimarisi

Tablo 4.12. ANN (TanH) modellerinin eğitim ve validasyon veri setlerine göre performans ölçütleri.

Performans	CH ₄		CO ₂		N ₂ O	
	Eğitim	Validasyon	Eğitim	Validasyon	Eğitim	Validasyon
ölçütü	veri seti	veri seti	veri seti	veri seti	veri seti	veri seti
r^2 (%)	94,9	91,9	88,0	80,0	87,2	84,8
RMSE	0.08	0.10	3,51	4,58	0.005	0.006
n	321	144	323	148	315	144

Tablo 4.13. ANN (Doğrusal) modellerinin eğitim ve validasyon veri setlerine göre performans ölçütleri.

Performans	CH ₄		CO ₂		N ₂ O	
	Eğitim	Validasyon	Eğitim	Validasyon	Eğitim	Validasyon
ölçütü	veri seti	veri seti	veri seti	veri seti	veri seti	veri seti
r^2 (%)	25,5	19,4	44,4	39,8	21,8	17,17
RMSE	0.32	0.34	7.55	7.94	0.01	0.02
n	321	144	323	148	315	144

Tablo 4.14. ANN (Gausyan) modellerinin eğitim ve validasyon veri setlerine göre performans ölçütleri.

Performans	CH ₄		CO ₂		N ₂ O	
	Eğitim	Validasyon	Eğitim	Validasyon	Eğitim	Validasyon
ölçütü	veri seti	veri seti	veri seti	veri seti	veri seti	veri seti
r^2 (%)	92,08	91,5	57,7	62,9	59,8	77,95
RMSE	0,12	0,11	6,59	6,23	0,06	0,008
n	321	144	323	148	315	144

CH₄, CO₂ ve N₂O akıllarının tahmininde kullanılan RF modellerinin hiperparametreleri ise şu şekildedir: 1000 karar ağacı, bölünme başına örneklenen terim sayısı olarak 3, önyükleme (bootstrapping) örnekleme oranı olarak 1, karar ağacı başına minimum ve maksimum bölünme sayısı olarak sırasıyla 10 ve 2000 ve minimum bölünme büyüklüğü olarak 5 kullanılmıştır. Üç sera gazına ait RF modelinin eğitim ve validasyon veri setine göre performansları Tablo 4.15'te verilmiştir.

Tablo 4.15. RF modellerinin eğitim ve validasyon veri setlerine göre performans ölçütleri.

	CH ₄		CO ₂		N ₂ O	
Performans	Eğitim	Validasyon	Eğitim	Validasyon	Eğitim	Validasyon
ölçütü	veri seti	veri seti	veri seti	veri seti	veri seti	veri seti
r^2 (%)	84,5	88,8	87,9	76,5	80,5	63,4
RMSE	0,12	0,18	3,47	3,54	0.007	0.008
n	321	144	323	148	315	144

ANN ve RF modellerinin performansları modellerin validasyon veri setleri r^2 (%) ve RMSE değerleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Buna göre en yüksek r^2 (%) değerine ve en düşük RMSE değerlerine sahip olan hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu (TanH) temelli ANN modeli temsil gücü en yüksek modeller olarak belirlenmiştir. Validasyon verilerine göre ANN modellerinin (TanH), CH₄, CO₂ ve N₂O akılarını tahmin gücü sırasıyla %91,9, %80,0 ve %84,8 olarak hesaplanmıştır.

4.6 CO₂, CH₄ ve N₂O İçin Kaynak ve Yutak Yanıtlarının Optimizasyonu

Veride bulunan çoklu bağlantı doğrusallaşmanın (*multicollinearity*) kaldırılmasından sonra ve azaltılmış veri boyutluluğu ile, tahmin gücü en yüksek olan ANN (TanH) algoritması temelli modelinin akabinde Monte Carlo bağımsız-yeniden örnekleme yaklaşımı kullanılarak üç sera gazı akı miktarlarını azaltan ve artıran 14 çevresel bileşenin koşulları ve bu bileşenlerin akıların değişim mekanizmaları üzerindeki önem seviyeleri belirlenmiştir. Bu yaklaşımda her faktör için gerçekleştirilen Monte Carlo simulasyon örneklemeleri, gözlemlenen değerler kümesinin yeniden örneklenmesiyle elde edilmektedir. Bunun yanında bu yaklaşım, faktörlerin kendi aralarında korelasyon bulunmadığı ve olası değerlerin tek tip bir dağılımla temsil edilmediği durumlarda tercih edilmektedir. Bu modelleme yöntemi, sera gazı akılarının oluşum mekanizmalarındaki en önemli sürücüler ve bu sürücülerin bu akıları minimize ve maksimize edebilecek çevresel, zamansal ve mekânsal faktörlerin tartışılmasına, diğer bir ifadeyle değişken öneminin değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

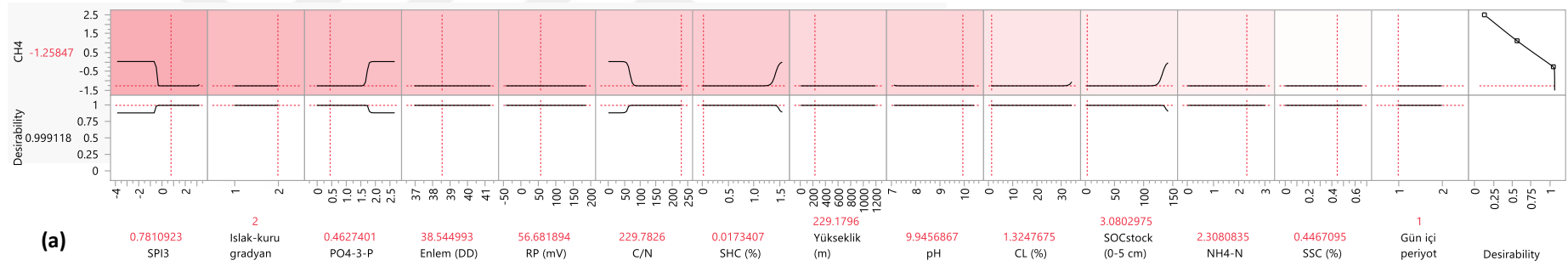
Tahmin modelinin f , ve modeldeki faktörlerin veya ana etkilerin $x_1, x_2, \dots, x_n$ ile ifade edildiği bir denklemde model eşitliği $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ şeklinde basitçe gösterilebilmektedir. Burada y 'nin beklenen değeri $E(y)$, y 'nin $x_1, x_2, \dots, x_n$ 'nin ortak

dağılımına göre integralinin alınmasıyla tanımlanır. y 'nin varyansı, $Var(y)$, $(y - E(y))^2$ 'nin $x_1, x_2, \dots, x_n$ 'nin ortak dağılımına göre integralinin alınmasıyla tanımlanır. Bu yaklaşımda ana etki olarak tanımlanan x_j 'nin y üzerindeki etkisi $Var(E(y | x_j))$ ile tanımlanabilir. Burada ana etkiler, verilen bir x_j için $x_1, x_2, \dots, x_n$ 'nin koşullu dağılımına göre belirlenir. Başka bir ifadeyle, $Var(E(y | x_j))$, x_j sabitken y 'nin ortalamasındaki x_j dağılımı üzerindeki değişimi ölçer. $Var(E(y | x_j))/Var(y)$ oranı y 'nin x_j faktörüne duyarlılığının bir ölçüsünü verir. Toplam etki ise, $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ varyansına x_j 'yi içeren tüm terimlerden gelen toplam katkıyı temsil eder. Toplam etkinin hesaplanması fonksiyonel ayrıştırma kavramına bağlıdır. f fonksiyonu, bir sabit ile tek değişkenlerin, değişken çiftlerinin ve benzerlerinin etkilerini temsil eden fonksiyonların toplamına ayrıştırılır. Bu bileşen fonksiyonlar ana etkilere, etkileşim etkilerine ve daha yüksek dereceli etkilere benzer. Öncelikle bu x_j terimleri içeren bileşen fonksiyonları belirlenir. Bunların her biri için koşullu beklenen değerin varyansı hesaplanır ve toplanır. Bu toplam, x_j içeren terimler nedeniyle $Var(y)$ 'ye yapılan toplam katkıyı temsil eder. Her bir x_j için bu toplam, girdilerin üretilmesi için seçilen metodoloji kullanılarak tahmin edilir (Sobol, 1993; Saltelli, 2002)

Kuruma sebebiyle açığa çıkan göl sedimanların CH_4 , CO_2 ve N_2O akı oluşum mekanizmalarında akı miktarlarını azaltan bileşenlerin kombinasyonları sırasıyla Şekil 4.4a, Şekil 4.6a ve Şekil 4.8a'da ve akı miktarlarını maksimize eden bileşenlerin kombinasyonları sırasıyla Şekil 4.5a, Şekil 4.7a ve Şekil 4.9a'da özetlenmiştir. CH_4 , CO_2 ve N_2O akılarının azalmasındaki çevresel bileşenlerin görelî önemi sırasıyla Şekil 4.4b, Şekil 4.6b ve Şekil 4.8b'de, bu akıların artışıdaki çevresel bileşenlerin görelî önemi ise sırasıyla Şekil 4.5b, Şekil 4.7b ve Şekil 4.9b'de verilmiştir. CH_4 akılarının değişim mekanizmasında akıların seviyelerlerinin düşüş eğilimi göstermesinde başlangıçta daha yüksek SPI_3 değeri (SPI_3 Kuraklık Şiddet İndeksi Sınıflandırmasına göre normal yağışlı iklim durumu), daha düşük nemlilik seviyeleri (ıslak-kuru grandayn boyunca sediman kuru bölgelerin etkisi) ve sonrasında ise daha düşük su $PO_4^{3-}-P$ ($mg L^{-1}$) değeri önemli çevresel faktörler olarak öne çıkmaktadır. CO_2 akıları daha düşük $PO_4^{3-}-P$ seviyesi, daha yüksek nemlilik (ıslak-kuru gradyanında ıslak bölgelerin etkisi) ve yüksek SPI_3 değeri (SPI_3 Kuraklık Şiddet İndeksi Sınıflandırmasına göre aşırı nemli iklim durumu) önemli kontrol parametreleri altında azalma eğilimi göstermiştir. N_2O akı miktarları ise yüksek SPI_3 değeri (SPI_3 Kuraklık Şiddet İndeksi Sınıflandırmasına göre aşırı

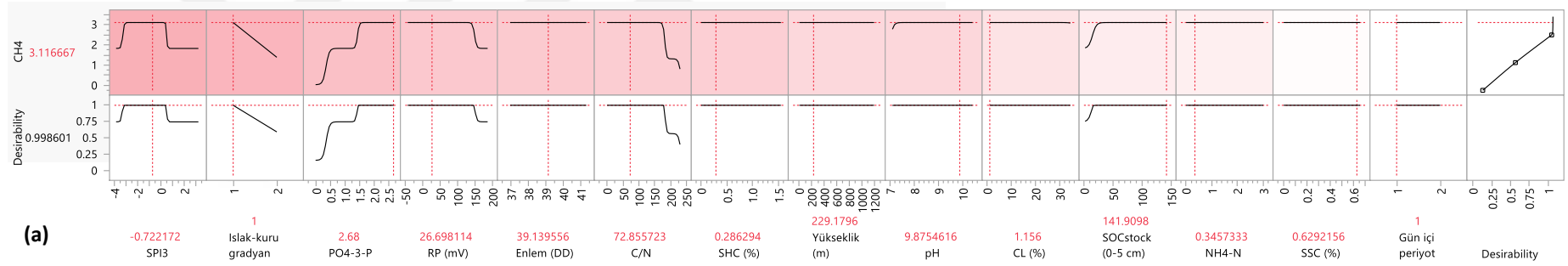
nemli iklim durumu), daha yüksek SHC(%) oranı, daha düşük SOC (Mg C ha^{-1}) ve su $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (mg L^{-1}) koşullarında önemli ölçüde etkilenip azalma eğilimi sergilemiştir. Ters koşullar ise sera gazı emisyonlarının artışına, yani kuruyan sulak alan sedimanlarının sera gazı kaynağı olma gücünü artırdığını söylemek mümkündür.





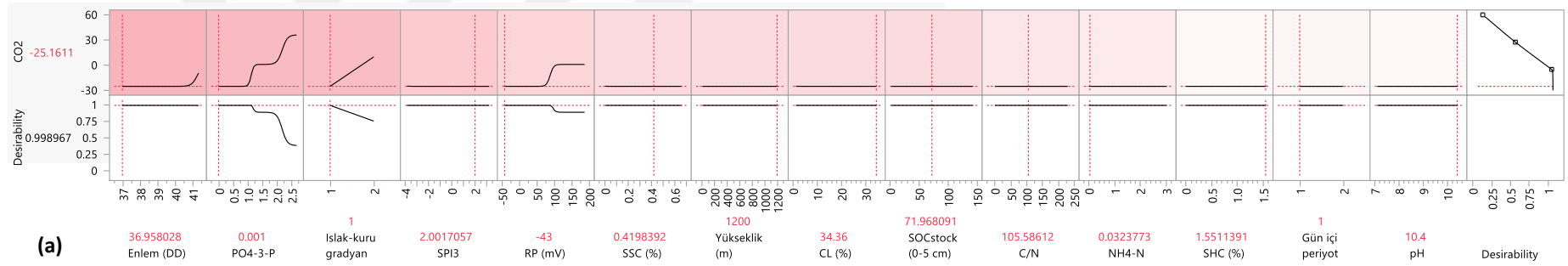
Bileşen	Ana Etki	Toplam Etki	(b)
SPI ₃	0.044	0.4	
Islak-kuru gradyan	0.097	0.34	
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	0.141	0.297	
Enlem (DD)	0.028	0.281	
RP (mV)	0.017	0.273	
C/N	0.075	0.238	
SHC (%)	0.029	0.237	
Yükseklik (m)	0.023	0.205	
pH	0.023	0.2	
CL (%)	0.024	0.154	
SOCstock (0-5 cm)	0.021	0.089	
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	0.021	0.086	
SSC (%)	0.008	0.02	
Gün içi periyot	0.002	0.004	

Şekil 4.4. Yapay sinir ağları (ANN) temelli ve Monte Carlo yeniden örneklemeye dayalı olarak CH₄ akılarının en az olduğu durum için için 14 tahmin bileşeninin kombinasyonları (a) ve göreceli önem sıralaması (b)



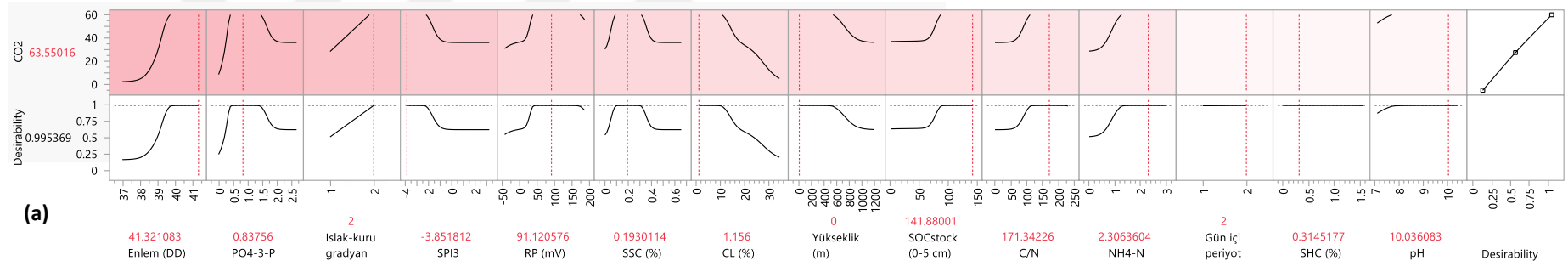
Bileşen	Ana Etki	Toplam Etki	(b)
SPI ₃	0.054	0.381	
Islak-kuru gradyan	0.102	0.347	
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	0.148	0.287	
RP (mV)	0.017	0.265	
Enlem (DD)	0.028	0.257	
C/N	0.085	0.235	
SHC (%)	0.028	0.228	
Yükseklik (m)	0.021	0.185	
pH	0.016	0.18	
CL (%)	0.014	0.128	
SOCstock (0-5 cm)	0.029	0.092	
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	0.021	0.076	
SSC (%)	0.007	0.016	
Gün içi periyot	0.002	0.003	

Şekil 4.5. Yapay sinir ağları (ANN) temelli ve Monte Carlo yeniden örneklemeye dayalı olarak CH₄ akılarının en fazla olduğu durum için için 14 tahmin bileşenin kombinasyonları (a) ve göreceli önem sıralaması (b)



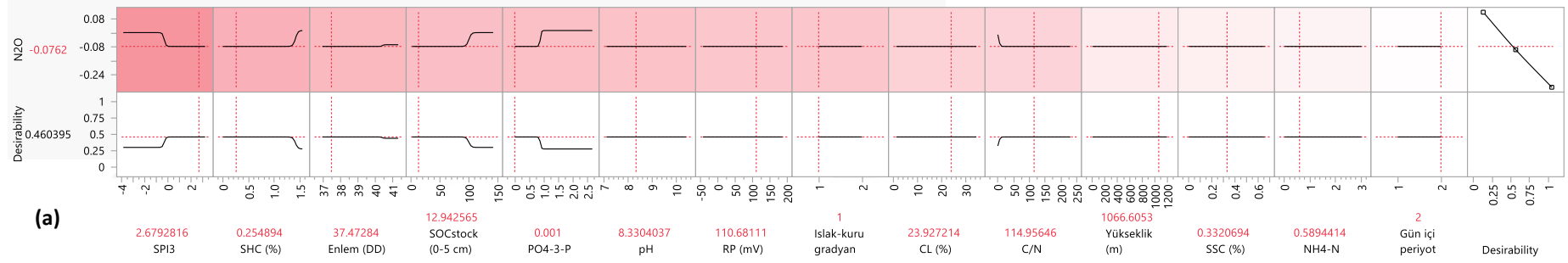
Column	Ana Etki	Toplam Etki	(b)
Enlem (DD)	0.115	0.367	
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	0.163	0.353	
Islak-kuru gradyan	0.041	0.324	
SPI ₃	0.025	0.248	
RP (mV)	0.024	0.207	
SSC (%)	0.051	0.187	
Yükseklik (m)	0.012	0.173	
CL (%)	0.045	0.164	
SOCstock (0-5 cm)	0.016	0.162	
C/N	0.015	0.114	
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	0.013	0.106	
SHC (%)	0.011	0.051	
Gün içi periyot	0.011	0.037	
pH	0.011	0.035	

Şekil 4.6. Yapay sinir ağları (ANN) temelli ve Monte Carlo yeniden örneklemeye dayalı olarak CO₂ akılarının en az olduğu durum için için 14 tahmin bileşeninin kombinasyonları (a) ve göreceli önem sıralaması (b)



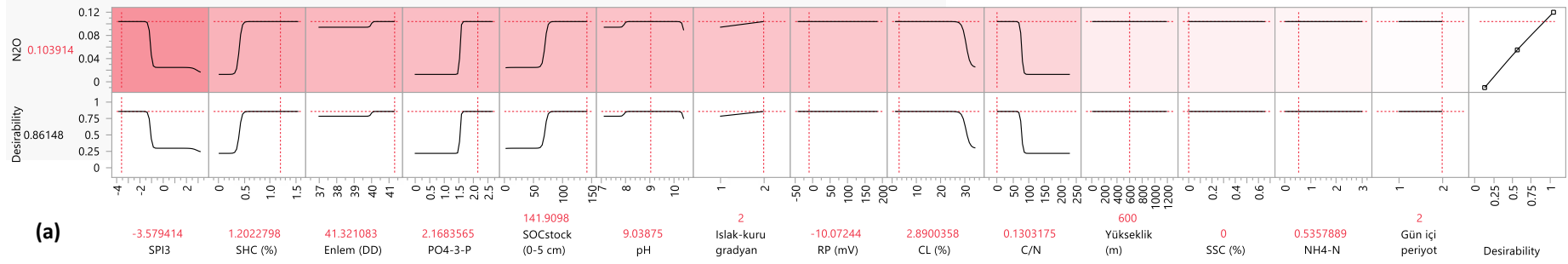
Column	Ana Etki	Toplam Etki	(b)
Enlem (DD)	0.102	0.354	
PO ₄ ³ -P (mg/L)	0.147	0.33	
Islak-kuru gradyan	0.03	0.318	
SPI ₃	0.028	0.252	
RP (mV)	0.017	0.204	
SSC (%)	0.056	0.18	
CL (%)	0.044	0.179	
Yükseklik (m)	0.016	0.176	
SOCstock (0-5 cm)	0.015	0.168	
C/N	0.015	0.117	
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	0.013	0.107	
Gün içi periyot	0.014	0.047	
SHC (%)	0.009	0.042	
pH	0.012	0.039	

Şekil 4.7. Yapay sinir ağları (ANN) temelli ve Monte Carlo yeniden örneklemeye dayalı olarak CO₂ akılarının en fazla olduğu durum için için 14 tahmin bileşeninin kombinasyonları (a) ve göreceli önem sıralaması (b)



Column	Ana Etki	Toplam Etki	(b)
SPI ₃	0.033	0.528	
SHC (%)	0.047	0.359	
Enlem (DD)	0.089	0.338	
SOCstock (0-5 cm)	0.025	0.335	
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	0.022	0.331	
pH	0.044	0.314	
Islak-kuru gradyan	0.025	0.273	
RP (mV)	0.04	0.267	
CL (%)	0.03	0.227	
C/N	0.029	0.202	
Yükseklik (m)	0.023	0.094	
SSC (%)	0.025	0.082	
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	0.016	0.058	
Gün içi periyot	0.006	0.013	

Şekil 4.8. Yapay sinir ağları (ANN) temelli ve Monte Carlo yeniden örneklemeye dayalı olarak N₂O akılarının en az olduğu durum için için 14 tahmin bileşeninin kombinasyonları (a) ve göreceli önem sıralaması (b)



Column	Ana Etki	Toplam Etki	(b)
SPI ₃	0.028	0.522	
SHC (%)	0.056	0.378	
Enlem (DD)	0.106	0.36	
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	0.015	0.315	
pH	0.036	0.306	
SOCstock (0-5 cm)	0.017	0.301	
Islak-kuru gradyan	0.024	0.285	
RP (mV)	0.037	0.268	
CL (%)	0.028	0.217	
C/N	0.041	0.205	
Yükseklik (m)	0.021	0.084	
SSC (%)	0.02	0.067	
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	0.013	0.059	
Gün içi periyot	0.004	0.011	

Şekil 4.8. Yapay sinir ağları (ANN) temelli ve Monte Carlo yeniden örneklemeye dayalı olarak N₂O akılarının en fazla olduğu durum için için 14 tahmin bileşeninin kombinasyonları (a) ve göreceli önem sıralaması (b)

5. TARTIŞMA

5.1 Çalışma Sonuçlarının Benzer Çalışmalarla Karşılaştırılması

Her ne kadar ilgili bilimsel literatürde pirinç ve çeltik tarlaları (Zhang vd., 2010; Li vd., 2015; Wang vd., 2019), taşkın ovaları (Koschorreck vd., 2000; Chen vd., 2010; Beringer vd., 2013), stabilizasyon havuzları (Silva vd., 2015) ve turbalıklar (Ojanen vd., 2010) gibi ıslak ve kuru olarak karakterize edilebilecek toprak ekosistemlerinde alansal sera gazı akıları belirlenmiş olsa da, kıta içi tatlı su kütlelerinin mevsimsel olarak belirli süreliğine (veya kalıcı olarak) kuruma sonucu atmosferle temas eden sedimanlarından salınan akıların belirlenmesi konusundaki çalışmalar günümüzde hala gözardı edilen bir konudur (Marce vd., 2019; Arce vd., 2019; Keller vd., 2020). Bunun yanında, literatürde yer alan benzer çalışmaların hemen hemen tamamı, sadece karbonlu (CO_2 ve CH_4) sera gazı alansal akıları üzerinde yoğunlaşırken, özellikle küresel iklim değişimi olayında önemli bir etkiye sahip olan N_2O gazı akılarının incelendiği çalışmalar neredeyse yok denecek kadar azdır. Tez çalışması sonucunda elde edilen bulgular, kuruyan göl kıyısı sedimanlarından CO_2 , CH_4 ve N_2O akılarının uzun süredir ihmal edilen ölçümlerinin ve bunların küresel ölçekteki ölçümleriyle ilgili belirsizliklerin azaltılması açısından ilgili literatüre katkıda bulunmaktadır.

Gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında 20 göl için sabah ve öğleden sonraki periyotlarda ıslak ve kuru sedimanlardan atmosfere salınan CO_2 , CH_4 ve N_2O akılarının boyutları, aşağıda Tablo 5.1’de benzer çalışmalarla karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Yine Tablo 5.1’de görülebileceği üzere, kuruma neticesinde atmosfere maruz kalan sedimanlardan gerek bu çalışma dahilinde, gerek farklı coğrafyalardan raporlanan CO_2 akılarının sayısal değeri çoğunlukla su yüzeyi ortalama CO_2 akısı olarak kabul edilen $100 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ’den (Marce vd., 2019) daha yüksek, bazı örneklerde ise $500 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ seviyesinin de üzerindedir.

Bu çalışmadaki ortalama günlük CO_2 akıları; subalpin gölet sedimanları (DelVecchio vd., 2019), Brezilya’da ölçümü gerçekleştirilen rezervuar sedimanları (Kosten vd., 2018), Çin’den raporlanan tropik bataklık toprağı yüzeyi (Chen vd., 2010), İspanya’daki geçici gölet sedimanları (Catalan vd., 2014; Obrador vd., 2018) ve Çin’deki bir taşkın ovası sedimanından (Tong vd., 2020) salınan akılara kıyasla daha yüksek seviyelerde ölçülmüştür. Bununla birlikte bu çalışmadaki CO_2 akıları,

İspanya (Gomez-Gener vd., 2015) ve Laos'ta ölçülen (Deshmukh vd., 2018) rezervuar sedimanlarından ve Amazon taşkı gölü sedimanlarından (Koschorreck, 2000) salınan emisyonlarla karşılaştırılabilir düzeydedir. Güney Kore'deki (Jin vd., 2006) bazı rezervuar gölü sedimanlarında, ve İspanya'daki geçici akarsu kanallarının kuruyan sedimanlarında daha yüksek seviyelerde CO₂ akıları da rapor edilmiştir. Bu bağlamda CO₂ akıları parametresi bakımından herhangi özel durumlar ortaya çıkmadıkça farklı coğrafyalardaki benzer karakteristik bölgelerden birbirine yakın akıların elde edildiği de görülmektedir. Buna bir örnek olarak Keller ve diğerleri (2020) kutup, kurak, tropikal, ılıman ve karasal iklim bölgelerinden toplanan çok sayıda veriyi kullanarak yayınladıkları geniş kapsamlı çalışma neticesinde bölgeler arasında CO₂ akısında anlamlı bir fark bulamamıştır. Bununla birlikte bu çalışmada elde edilen sonuçlar sanayi ve tarımsal faaliyetler gibi antropojenik etkinin görece diğer bölgelerden daha fazla olduğu Marmara bölgesine ait kuruyan göl sedimanlarından salınan akıların her üç sera gazı içinde en yüksek akı değerlerine sahip olduğunu göstermiştir. Antropojenik etkinin en düşük olduğu Karadeniz bölgesi göllerinden salınan sera gazı akıları ise diğer beş bölge ile kıyaslandığında en düşük düzeylerde oldukları görülmüştür.

Çalışma neticesinde elde edilen günlük CH₄ akılarının literatürde karşılaştırma amacıyla derlenen çoğu rapordanlanmış değerden daha yüksek seviyelerde olduğu görülürken, yine beklenen bir şekilde Çin'de bulunan bir Tatlısu bataklığından (Tong vd., 2020) raporlanan değerlerden daha düşük seviyelerde kalmıştır. Bu çalışmada hesaplanan N₂O akıları ise, benzer karakteristik ekosistemlerden raporlanmış fazla sayıda veri olmaması sebebiyle yalnızca tarımsal drenaj hendeği sedimanları (Tian vd., 2018) ve bataklık topraklarından (Chen vd., 2010; Tong vd., 2020) bildirilenlerle karşılaştırılabilmiştir. Bu çalışmadaki N₂O akıları, drenaj hendeği sedimanları ve tropikal bataklık topraklarından ölçülen akılara kıyasla oldukça yüksek, fakat tatlısu gelgit ovası topraklarından salınan akılarla kıyaslandığında ise önemli derecede düşük seviyelerdedir.

Bildirilen çalışmaların büyük çoğunluğu, çeşitli arazi kullanımlarından kaynaklanan toprak ve sedimanlardaki CO₂ ve CH₄ akılarını araştırmış olsa da, McDaniel vd. (2019) altı kıtada %5'i Afrika, %11'i Asya, %15'i Avustralya ve Yeni Zelanda, %15'i Güney Amerika, %21'i Avrupa, ve %33'ü Kuzey Amerika'yı kapsayan 62 çalışmadan toprak CH₄ ve N₂O akı verilerini derlemiştir. Her ne kadar yapılan derleme kapsam olarak bu çalışmada ele alınan sezonsal kurumuş ıslak ve

kuru göl sedimanlarını kapsamasa da, McDaniel vd. (2019) tarafından yayınlanan sonuçlarına göre, tüm arazi kullanımlarında CH₄ akıları -0,483 ile 0,882 mmol m⁻² d⁻¹ arasında değişmiştir. En büyük toprak CH₄ yutağı (çoğu negatif akı) killi yeşil alanlar (loamy grasslands) için rapor edilirken, atmosfere en yüksek akılar yaklaşık 20 yıllık bir meradan raporlanmıştır. N₂O akıları ise -0,105 ile 0,579 mmol m⁻² d⁻¹ arasında değişmekte olup, her iki uç değer de bir bambu plantasyonu olan Çin'de aynı arazi kullanımına ait olarak öne çıkmıştır.

Doğrudan kuruyan kıta içi tatlı su sedimanlarından salınan CH₄ akılarının küresel çapta analiz edildiği önemli bir çalışma ise Paranaíba vd. (2022) tarafından yayınlanmıştır. Dünya genelinde 10 ülkeden 89 farklı bağlantısız hidrolojik yapı olmak üzere çeşitli göller, göletler, rezervuarlar ve çeşitli akarsulara ait kuruyan sedimanlar tarafından atmosfere salınan CH₄ akılarının ölçülerek yorumlandığı çalışmanın sonuçlarına göre; bu sedimanlar tarafından atmosfere salınan CO₂ eşdeğeri CH₄ kütleleri, toplam tatlı su ekosistemlerinden salınan tüm sera gazlarının %10'u ile %21'i (ortalama olarak %14) arasında oldukça önemli bir katkı yapmaktadır. Salınan akının sayısal boyutunu belirleyen en önemli çevresel faktörler ise, hidrolojik yapıya bakılmaksızın, sediman organik madde içeriği ve nem olarak öne çıkmıştır. Bu sonuçlara bakıldığında ise, CH₄ bileşeninin kuruyan sedimanlardaki karbon döngüsünü doğru olarak açıklama çalışmalarında kesinlikle gözardı edilmemesi gereken bir parametre olduğu öne çıkmaktadır.

Tablo 5.1. Günlük ortalama sera gazı akılarının ($\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$) benzer çalışmalarla (ortalama $\pm$ Std. Sapma veya min-max) karşılaştırılması

Konum ve periyot	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Referans
Orta yükseklikteki gölet sedimanları, ABD	10,8 $\pm$ 10,3			(DelVecchio vd., 2019)
Sezonsal gölet sedimanları, İspanya	121,3 $\pm$ 138,1			(Catalan vd., 2014)
Sezonsal gölet sedimanları, İsveç	21,6-703,2			(Martinsen vd., 2019)
Sezonsal gölet sedimanları, İspanya (yıllık)	149 $\pm$ 111			(Obrador vd., 2018)
Rezervuar sedimanları, Laos	279 $\pm$ 27	1,67 $\pm$ 2,23		(Deshmukh vd., 2018, Serça vd., 2016)
Rezervuar sedimanları, İspanya	216 $\pm$ 177	1,2 $\pm$ 2,3		(Gomez-Gener vd., 2015)
Rezervuar ıslak sedimanları, Brezilya	37,4 $\pm$ 8,1	0,23 $\pm$ 0,26		(Kosten vd., 2018)
Rezervuar sedimanları, Güney Kore	515 $\pm$ 377			(Jin vd., 2006)
Tarımsal drenaj hendeği sedimanları, Çin			0,006 $\pm$ 0,00003	(Tian vd., 2018)
Tatlısu gelgit bataklığı, Çin	141,5 $\pm$ 13,4	11,5 $\pm$ 1,65	8,4 $\pm$ 3,5	(Tong vd., 2020)
Tropikal bataklık toprağı, Çin	32,4-493,4	0,24-23,8	0,003-0,57	(Chen vd., 2010)
Amazon taşkın gölü sedimanı, Brezilya	272 $\pm$ 113	<0,1		(Koschorreck, 2000; Koschorreck ve Darwich, 2003)
Geçici akarsu kanal sedimanı, İspanya	781 $\pm$ 390			(Gomez-Gener vd., 2016)
20 göl ıslak ve kuru (kombine) sedimanları, Türkiye	341,76 $\pm$ 22,8	6,96 $\pm$ 22,8	0,48 $\pm$ 1,44	Bu çalışma

5.2 Sediman CO₂, N₂O ve CH₄ Akılarının Zamansal, Mekânsal, Çevresel ve Coğrafik Belirleyicileri ve Modellenabilirliği

-1'in altındaki ve 1'in üzerindeki 3 aylık SPI₃ değerleri sırasıyla uzun süreli kuru ve ıslak dönemsel etkiyi temsil etmektedir. Uzun vadeli yaz dönemi SPI₃ değerleri (ortalama = $-0,80 \pm 1.48$; medyan = $-0,62$), tek başına sediman CH₄ akısının ($r = -0,131$; $p < 0,0001$) doğrusal düzenleyicisi olarak öne çıkarken, CO₂ ve N₂O akısı ile önemli bir pozitif ilişki göstermemiştir (sırasıyla $r = 0,171$ ve $0,001$; $p = 0,0571$ ve $0,7986$) (bkz. Tablo 4.4). Öte yandan, sera gazı akıları oluşum mekanizmalarında önemli rol oynayan çevresel, mekânsal ve zamansal parametrelerin etkileşimlerinin önemli etkilerinin açıklanmasında ANN modeli yaklaşımı oldukça fayda sağlamıştır. Buna göre, her üç sera gazı akısının değişkenlerin sinerjik etkileri ile birlikte değerlendirildiğinde SPI₃ değerlerinin düşmeye başlamasıyla akı miktarlarının düşüş eğilimde olduğunu görülmüştür. Akı miktarlarıyla bu parametre arasındaki pozitif ve önemli açıklayıcı parametre olmasının arkasındaki itici güç, kuruma dönemiyle ifade edilen ve sediman mikrobiyel faaliyetleri azaltan su stresi olarak açıklanabilir (Schimel vd., 2007). Anlık saha ölçümlerine dayanan sediman ıslak-kuru örnekleme neticesinde ise, sediman su içeriği (SWC, %) önemli bir vekil (proxy) değişkeni olarak öne çıkmıştır ($r = -0,852$; $p < 0,0001$) (bkz. Tablo 4.2). Islak sedimandan kuru sedimana geçiş ile CH₄ akıları ile anlamlı negatif ilişki ($r = -0,408$; $p < 0,0001$) gözlenirken CO₂ ve N₂O akıları ile anlamlı pozitif ilişki gözlemlenmiştir (sırasıyla $r = 0,521$ ve $0,001$; $p < 0,0001$) (bkz. Tablo 4.4). CO₂, N₂O ve CH₄ akılarına ıslak-kuru gradyanlar boyunca etkileşiminin kübik fonksiyon uyumuna dayalı olarak tahmin edildiği varyasyonların ıslak-kuru sediman gradyan özelliğince önemli ölçüde değişkenlik göstermesi sera gazlarının akı değişim mekanizmalarında bu parametrelerin önemini vurgulamıştır (bkz. Tablo 4.11). Benzer şekilde kompleks ANN modeli her üç sera gazı için ıslak-kuru gradyanın önemli tahmin parametreleri olduğunu göstermiştir. Bulgularımızla tutarlı olarak, daha önce gölet ve göllerin ıslak kıyı sedimanlarına kıyasla kuru kıyı sedimanlarında daha yüksek CO₂ ve daha düşük CH₄ çıkışları bulunmuştur. Yüksek gözeneklilik, düşük su tutma ve yüksek gaz difüzyon kapasitesi özelliklerinden dolayı daha yüksek bir CO₂ akı oluşturma potansiyeline sahipken, tersi koşullarda daha yüksek CH₄ akısı oluşturma davranışı sergilerler (Marce vd., 2019; Keller vd., 2020; Paranaiba vd., 2022).

Fosfor içeriği, sırasıyla sediman N_2O ve CO_2 akılarının her ikisi için de en güçlü doğrusal etkiyi yaratmıştır. Mikrobiyal biyokütle artışında doğrudan etkili olan $PO_4^{3-}-P$ içeriği daha önceki çalışmalarda gözlemlendiği şekilde bu çalışmada da sediman CH_4 ve CO_2 , N_2O akılarını arttırmıştır ($r = 0,222$; $0,201$ ve $0,278$; $p < 0,0001$) (bkz. Tablo 4.4) (Mori vd., 2017; Wenlong vd., 2017; Stiles vd., 2018). $PO_4^{3-}-P$ içerikleri her üç sera gazı için ıslak-kuru gradyan boyunca doğrusal olmayan önemli belirleyiciler arasında önemini göstermiştir (bkz. Tablo 4.11). ANN modellerinin sonuçları da CH_4 ve CO_2 , N_2O ile açıklayıcı parametrelerin doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkilerine benzer şekilde $PO_4^{3-}-P$ içeriklerinin hem tek başına hem de etkileşim etkileriyle birlikte sera gazı akılarının oluşumunda önemli sürücüler arasında yer aldığına işaret etmiştir. Buna göre $PO_4^{3-}-P$ içeriğindeki değişiklik her üç sera gazı akısının miktarlarının azalması ve artmasında önemli tahmin ediciler olarak bulunmuştur. Feng ve Zhu (2019) tarafından yapılan küresel ölçekli bir meta-analiz çalışmasında, bitki büyümesini artırması sebebiyle toprağa fosfor ilavesinin, yaprak dökülmesi kaynaklı toprağa karbon ilavesinin ve toprak mikrobiyal aktivitesinin tamamının toprak solunumunu genel olarak arttığı ifade edilmiştir.

20 gölün medyan ve ortalama sediman C/N oranları sırasıyla 11,81 ve 31,01 $\pm 47,25$ olarak hesaplanmıştır. Kuzey yarımküredeki turbalıkların medyan C/N oranının 49,0 olduğu (Loisel vd., 2014) tarafından belirtilirken, küresel olarak mineral toprakların ortalama C/N oranının 10.9 olduğu tahmin edilmektedir (Batjes, 2009). Sediman C/N oranı her üç sediman akısı üzerinde de güçlü doğrusal bir etki göstermemiştir ($p > 0,05$) (bkz. Tablo 4.4). Diğer yandan güneyden kuzeye ve ıslak-kuru gradyanlardaki sediman sera gazı akılarına kübik bir C/N oranı fonksiyonu yerleştirilmesi sera gazı oluşumundaki varyasyonları açıklamada önemli olabileceğini göstermiştir (bkz. Tablo 4.11). Kuruyan göl sedimanlarının CH_4 ve CO_2 akılarının oluşma kapasiteleri, toprak solunumuna benzer şekilde, öncelikle toprak mikroorganizmaları tarafından SOC-N havuzlarının ayrışma ve mineralizasyon oranlarına bağlıdır. Daha yüksek veya daha düşük bir C/N oranının, sırasıyla toprak mikrobiyal aktivite yoğunluğunu, SOC-N mineralizasyonunu ve dolayısıyla CO_2 emisyonunu azalttığı veya artırdığı bildirilmiştir (Lamparter vd., 2009; Mancinelli vd., 2013; de Vries vd., 2014; Moitinho vd., 2015). Ekilecek mahsuller için mikrobiyal N-immobilizasyonunu önlemek amacıyla genellikle ekin sistemlerinde düşük C/N oranına sahip yeşil gübre kullanılması buna iyi bir

örnektir (Lamparter vd., 2009; de Vries vd., 2014). Diğer bir ifadeyle, artan toprak C/N oranı mikrobiyal N talebini mevcut N seviyesi üzerine çıkartır, böylece toprak N miktarı nitrifikasyon veya denitrifikasyon için SOC'ye göre sınırlayıcı bir faktör haline getirir ve ayrıca toprak N₂O akısını düşürür (Leifeld vd., 2000; Springob ve Kirchmann, 2003; Ernfors vd., 2007; Feng ve Zhu, 2017). Çalışmada da benzer şekilde ANN modelleri sonuçları, sediman N₂O akısının artışında C/N oranı artışını önemli negatif bir tahmin edici parametre, CH₄ ve CO₂ akılarının artışında ise pozitif tahmin edici bir parametre olarak ortaya çıkmıştır.

20 göl boyunca ortalama değeri $8,4 \pm 0,7$ (medyan = 8,3) olan sediman pH'sı, sediman CO₂ ($r = -0,269$, $p < 0,0001$) ve N₂O akılarının ($r = -0,233$, $p < 0,0001$) diğer önemli doğrusal bir güdüleyicisi olarak ortaya çıkarken CH₄ ile pH arasında önemli doğrusal ilişki görülmemiştir ($p > 0,05$) (bkz. Tablo 4.4). Özellikle, toprak pH'sının 3 ile 7 veya 8 olan min-maks aralığının dışında yükselen bir pH seviyesi, toprak solunumunu engellemekte, çünkü yüksek pH toprağın karbon mineralizasyonunda görev alan bakterilerin mikrobiyal aktivitesini ve bileşimini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Reth vd.,2005; Elgharably ve Marschner, 2011; Mavi vd., 2012). Li vd. (2018b) tarafından 2015 ve 2016 yılları arasında büyüme mevsimi boyunca (Nisan-Kasım) günlük ve mevsimsel olarak Çin'de bulunan Ebinur Gölünün sazlık (pH = $8,1 \pm 0,4$), ılgın (tamarisk) (pH = $8,0 \pm 0,5$) ve bitkisiz (pH = $8,0 \pm 0,7$) üç farklı karakterdeki kıyılarında küresel karbon döngüsünde nispeten gözardı edilen bir parametre olan sulak alan toprak solunum hızları ölçülmüştür. Bulgularımıza benzer şekilde, toprak CO₂ akılarının her üç farklı karakteristik kıyıda da pH parametresiyle negatif korelasyon gösterdiği belirtilmiştir. Kübik fonksiyon ile açıklanan ilişkilere göre, pH seviyesi ıslak-kuru sediman ve enlem etkileşimine bağlı olarak CH₄, CO₂ ve N₂O akılarını önemli ölçüde açıklayabileceği görülmüştür (bkz. Tablo 4.11). ANN modeli yaklaşımında ise pH parametresi tek başına ve toplam etki (tek+etkileşim) açısından CH₄ ve CO₂ akıları için önemli bir tahmin parametresi olarak öne çıkmamıştır. Sayıca fazla açıklayıcı değişkenin etkileşim etkilerini değerlendirmeye olanak sağlayan kompleks ANN modeli ise, diğer parametrelerin etkileşim etkileri ile birlikte pH faktörünün 8'den 9'a artışı gibi çok ufak değişimin bile N₂O akıların artışı üzerinde etkili olabileceğini göstermiştir. pH gradyanındaki artışın (pH = 4,0, 5,5, 7,0, 8,0 ve 9,0) N₂O oluşumuna bakteriyel katkısını inceleyen çalışmada bu çalışmaya

benzer şekilde N₂O emisyonlarının toprak pH'ı ile arttığı görülmüştür (Chen vd, 2015).

Sucul, karasal ve geçiş ekosistemlerinde, sınırlı toprak C, N ve H içeriklerinin ve bunların stokiyometrik olarak dengeye ulaşmamış oranlarının, toprak mikrobiyal büyümesini, canlılığını, aktivitesini ve bileşimini olumsuz etkilediği bildirilmektedir. Bununla birlikte, C ve N döngülerinin bir belirleyicisi olarak SHC, toprak C ve N içeriği ve C/N oranı kadar ilgi görmemiştir (Piché-Choquette ve Constant, 2019). Bu çalışma, SHC (%) 'nin sırasıyla CH₄ ($r = -0,097$; $p = 0,04$), CO₂ ($r = 0,072$; $p = 0,118$) ve N₂O ($r = -0,049$; $p = 0,290$) emisyonları ile doğrusal ancak önemli olmayan ilişkilerine işaret etmiştir. Kübik denklem temelli doğrusal olmayan tahmin yaklaşımı ise sedimanlardan salınan CH₄, CO₂ ve N₂O akılarını açıklama konusunda SHC (%) çevresel faktörünün ıslak-kuru gradyan ve enlem parametreleri eşliğinde önemli bir tahmin edici parametre olabileceğini göstermiştir (bkz. Tablo 4.4). Yüksek SHC, sınırlayıcı çevresel koşullar altında bile toprak mikroorganizmaları için tüketilme kolaylığı nedeniyle yüksek bir enerji kaynağı sağlamaktadır (Piché-Choquette ve Constant, 2019). ANN temelli tahmin modeli ise daha yüksek pH seviyelerinde, daha yüksek bir SHC(%) sedimanlardaki N₂O emisyonlarını arttırmada önemli bir tahmin parametresi olabileceği hipotezini desteklemiştir.

Sediman redoks potansiyel değişkenliği elektron kullanılabilirliğini, besin çözünürlüğünü ve mikrobiyal yapıyı ve metabolik aktiviteyi değiştirmektedir. Sediman RP değerindeki artışın CO₂ akı miktarlarını pozitif, sediman CH₄ akılarını ise negatif yönde etkilediği bilinmektedir (Reverey vd., 2016). Çalışmamızda ortalama $\pm$ standart sapma ve medyan değerleri sırasıyla $71,5 \pm 41,5$ mV ve 69,0 mV olarak belirlenmiştir. İlgili literatürle uyumlu olarak (Picek vd., 2000; Peralta vd., 2014; Chen vd., 2018; Bhanja ve Wang, 2020) CO₂ akısının RP ile anlamlı pozitif korelasyonu ($r = 0,202$; $p < 0,0001$) bu çalışmada da gözlenmiştir (bkz. Tablo 4.4). CH₄ ve N₂O akıları ile RP arasında önemli doğrusal ilişki bulunamamıştır ($p > 0,01$) (bkz. Tablo 4.4). CH₄, CO₂ ve N₂O akılarının redoks potansiyeline doğrusal olmayan bağlılığı sediman ıslak-kuru gradyanı ve enlem değişkenliği doğrultusunda açıklanabilmiştir (bkz. Tablo 4.11). Sedimanın kuruması sırasında, redoks potansiyelindeki artış mikrobiyal aktiviteyi güçlendirirerek CO₂ akılarının artışını desteklemektedir (Magonigal vd., 2004). Aksi koşullarda (daha ıslak sediman ve daha düşük RP değeri) ise metojenik bakterilerin etkinliğinde

metanojenez süreçleri sonucunda CH₄ akı miktarları artışa geçmektedir (Reverey vd., 2016). ANN modeli yaklaşımı da literatür çalışmalarda elde edilen sonuçlardaki gibi sediman ıslak-kuru gradyanı boyunca artan RP değerleriyle birlikte CO₂ akılarının arttığını ve CH₄ akılarının azaldığı hipotezlerini desteklemiştir.

Sediment kil fraksiyonu (CL)(%) ($31,0 \pm 47,25$; medyan =11,8) CH₄ akıları ile negatif ($r = -0,242$; $p < 0,0001$) sediment CO₂ ve N₂O emisyonları ile pozitif (sırasıyla $r = 0,163$, $r = 0,214$, ; $p = 0,0004$, $p < 0,0001$) bir korelasyon göstermiştir (bkz. Tablo 4.4). Kil bakımından zengin sedimanların, SOC içeriğini ve dolayısıyla mikrobiyal biyokütle metabolizmasının atmosfere daha yüksek CO₂ salması için enerji kaynağını arttırabileceği bilinmektedir (Li vd., 2015; Xavier vd., 2015; Abido vd., 2020). Bir çok araştırmacı tarafından tarım arazileri ve benzeri çok sayıda farklı arazi türünde gerçekleştirilen ölçümlerin küresel meta-analizi, kil içeriği ile toprak N₂O emisyonu arasında pozitif bir ilişki olduğunu söylemiştir (Jungkunst vd., 2006; Wang vd., 2018; Hansen vd., 2019). Bununla birlikte akıların oluşum mekanizmalarının birden fazla açıklayıcı çevresel parametreler ile birlikte değerlendirilmesine olanak sağlayan ANN modeli yaklaşımı ıslak-kuru sediman gradyanı boyunca CL(%)’deki artışın sedimanlardaki gaz difüzyonunu engelleyerek CO₂ ve N₂O akılarının oluşumunu sınırlandırabileceğini göstermiştir (Miller vd., 2020). CH₄ akısının tahmininde ise ANN modeli sonuçları, sediman CL(%) çevresel faktörünün, diğer açıklayıcı parametrelere göre daha düşük bir tahmin gücüne sahip olduğunu söylemiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında Türkiye’de 5 farklı coğrafi bölgeye dağılmış 20 göl-kara kesişim arayüzlerden CO₂, N₂O ve CH₄ akıları belirlenmiş, bunların makansal-zamansal dinamikleri, çevresel etkenleri ve sürücülerin kaynak güçlerinin arkasında yatan etkileşim etkileri ölçülmüştür.

Çalışmada elde edilen sonuçlar ve öneriler, Giriş bölümünde sıralanan araştırma soruları doğrultusunda maddeler halinde aşağıda açıklanmıştır:

1. Doğal tatlısu gölleri için göl-kara ekotonlarından ıslak-kuru sediman değişkenliği boyunca CO₂, CH₄ ve N₂O akıları mekânsal olarak nasıl farklılık göstermektedir?

Sonuç 1. Ölçümü gerçekleştirilen üç sera gazından CO₂ için Türkiye genelinde farklı coğrafi bölgelerde bulunan göllerde en yüksek ortalama akı değerleri Marmara, bunu takiben İç Anadolu, Ege, Karadeniz ve Akdeniz bölgelerinde gözlemlenmiştir. CH₄ akıları ise yüksekten düşüğe; Marmara, Akdeniz, İç Anadolu, Ege ve Karadeniz bölgelerinde ölçülmüştür. Son olarak ise N₂O akıları En yüksek Karadeniz bölgesinde bulunan göl sedimanlarında, ardından sırasıyla Marmara, Akdeniz, İç Anadolu ve Ege bölgelerinde ölçülmüştür. Bununla birlikte bu sıralama beşeri coğrafi bölge sınırları dahilinde konumlanmış kuruyan göl sedimanlarından salınan akıların birbiri arasındaki sayısal değerlerinin kıyaslanması olup, coğrafi konumun sedimanlardan salınan akıların belirlenmesinde nasıl etki ettiğinin sıranmasında geçerli bir yaklaşım olarak değerlendirilemez. Bu maksatla akı değerleri coğrafi bölgedeki farklılıkların hipotez testleriyle tartışılmasından sonra SPI, enlem, boylam ve yükseklik gibi mekânsal ayırdedicilerin dahil edildiği ilişkiler korelasyon, çoklu doğrusal olmayan regresyon analizlerine dayalı incelenerek açıklanmıştır. Analizler sonucunda enlem, boylam ve yükseklik gibi mekânsal değişikliklerin kuruyan tatlısu sedimanlarındaki sera gazı değişim mekanizmalarını ancak çevresel güdüleyiciler ile birlikte değerlendirildiğinde anlamlı şekilde açıklanabileceğini ortaya koyulmuştur. Marmara bölgesi çevresindeki kuruyan göl sedimanlarından salınan akıların diğer bölgelerdeki göl sedimanlarından daha yüksek seviyelerde belirlenmiş olması bölgedeki yoğun tarım faaliyetleri ile ilişkilendirilebilir.

Öneri 1. Doğal tatlısu gölleri için göl-kara ekotonlarından ıslak-kuru sediman değişkenliği boyunca salıverilen CO₂, CH₄ ve N₂O dış akıllarının mekânsal dinamikliğini tarım, sanayii gibi göl sedimanı fizikokimyasal karakterini özellikle besin maddesi içeriğini önemli ölçüde değiştirebilecek insan etkisinden uzak farklı enlem, boylam ve yükseklikte bulunan göllerde gerçekleştirilecek akı ölçümlerine dayalı bir çalışma ile açıklamak faydalı olabilir.

2. Dönemsel kurumaya bağılı olarak açığa çıkan tatlı su sediman bölgelerindeki CO₂, CH₄ ve N₂O akıları sedimanların ıslak ve kuru değişkenliğinden etkilenmekte midir?

Sonuç 2. Çalışma kapsamında dönemsel kurumaya bağılı olarak açığa çıkan tatlı su sediman bölgelerindeki CO₂, CH₄ ve N₂O dış akıllarının noktasal değerlerinin sedimanların ıslak-kuru değişkenliğinden önemli derecede etkilendiği hipotez testleri, doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon analizleri ve gelişmiş ANN temelli modellerle açıklanmıştır. Buna göre tüm veri temelli istatistiksel yaklaşımlar CO₂ ve N₂O dış akıllarının ıslak bölgeden kuru bölgeye geçişte arttığını, CH₄ akıllarının ise tersi davranış göstererek azaldığına işaret etmiştir.

Öneri 2. Islak/kuru gradyanın sera gazı salınımlarına doğrudan etkisini belirlemek amacıyla farklı deneysel tasarımlara başvurmak mümkündür. Örneğin, tek veya nispeten daha az sayıda göl için tasarlanacak bir çalışma kapsamında kurumamanın başladığı ilkbahar aylarından itibaren yeniden ıslanmanın başlayacağı yağışlı sezona kadar geçen sürede aynı noktalardan ölçümler gerçekleştirilebilir. Bu tasarım, sera gazı akıllarında meydana gelebilecek olası farklılıkların sediman nemlilik seviyesi etkisini açıklamada faydalı olabilir. Bunun dışında araziden alınacak belirli miktar sediman numunelerinin laboratuvar koşullarında farklı nem içeriklerine ayarlanarak sera gazı çıkışlarının inkubasyon yöntemiyle incelenebileceği bir deneyse tasarım da bir diğer alternatiftir. Bu çalışmada ise yukarıda bahsedilen alternatif deneysel tasarımlardan ziyade, ıslak/kuru gradyanın ve buna doğrudan veya dolaylı şekilde bağılı olarak değişen pek çok fizikokimyasal ve mekânsal parametrenin her biri kendine özel olan çok sayıda farklı gölde arazi ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

3. Sedimanlardaki CO₂, CH₄ ve N₂O akıları gün içi zamansal farklılıktan etkilenmekte midir?

Sonuç 3. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen hipotez testleri CO₂, CH₄ ve N₂O dış akıların sabah ve öğleden sonra olarak belirlenen gün içi zaman değişikliğinden etkilenmediğini göstermiştir. Her üç sera gazı akısı içinde zaman periyodu ile anlamlı doğrusal ilişki bulunamamıştır. Benzer şekilde ANN modeli temelli tahmin modeli sabah ve öğleden sonra zaman gradyanının üç sera gazı akılarının açıklanmasında bu çalışma için önemli bir zamansal tahmin edici parametre olmadığına işaret etmiştir.

Öneri 3. Kuruyan tatlı su sedimanlarının sera gazı akılarının günlük zaman diliminde nasıl farklılık göstereceği, gece ölçümlerinin de çalışma planına entegre edileceği bir çalışma ile daha net bir şekilde ortaya koyulabilir.

4. Toprak ve sedimanın fizikokimyasal özelliklerinin, ıslak-kuru göl sediman CO₂, CH₄ ve N₂O akıları üzerindeki nispi etkileri nelerdir? Sediman fizikokimyasal özelliklerin, mekânsal ve zamansal kategorik değişkenlerle birlikte modellenmesi mümkün müdür?

Sonuç 4. Sedimanın fizikokimyasal özelliklerinin ıslak-kuru gradyan, gün içi zaman gradyanı (sabah ve öğleden sonra) ve mekânsal (enlem, boylam ve yükseklik) kategorik değişkenler ile birlikte değerlendirilerek sediman CO₂, CH₄ ve N₂O akıları üzerindeki nispi etkileri açıklanmıştır. ANN ve Monte Carlo yeniden örnekleme timeline dayalı model yaklaşımı ile CO₂, CH₄ ve N₂O akılarının güdüleyicilerinin önem seviyeri fizikokimyasal özellikleri, zamansal ve mekânsal parametrelerle ve bu parametrelerin etkileşimlerinin etkileriyle birlikte açıklanmıştır. ANN ve Monte Carlo yeniden örnekleme temelli model sonuçlarına göre sera gazı akılarının maksimize ve minimize değerlerin oluşmasındaki en önemli tahmin parametreleri belirlenmiştir. Buna göre SPI₃, ıslak-kuru gradyan, PO₄³⁻-P (mg L⁻¹), enlem ve RP (mV) açıklayıcı değişkenleri kuruyan tatlı su sedimanları CH₄ ve CO₂ akıları oluşum mekanizmalarını açıklamada en önemli faktörler olarak öne çıkmıştır. N₂O akıları için ise bu faktörler SPI₃, SHC (%), enlem ve PO₄³⁻-P (mg L⁻¹) şeklindedir. Elde edilen bulgular, sera gazı akılarının büyüklüklerinin arkasındaki önemli güdüleyici güçlerin etkilerinin belirlenmesi kuruyan tatlı su sedimanlarından salınan sera gazı değişim mekanizmalarının açıklanmasında literatüre katkı sağlamaktadır.

Öneri 4. Bu çalışmada veri temelli ANN ve RF modelleri modelleme yaklaşımları kullanılarak CH₄, CO₂ ve N₂O akılarının düşük hata payları ile tahmin edilebilirliği, sonrasında bu akıları minimize ve maksimize edebilecek çevresel,

mekânsal ve zamansal faktörler ile bu faktörlerin önem seviyeleri belirlenmiştir. Veri temelli model yaklaşımlarına ek olarak süreç temelli modeller ile kuruyan göl sedimanlarının sera gazı akıları dinamikleri modellenenabilir.

Ek öneriler:

Tez çalışması kapsamında sera gazı akı ölçümü gerçekleştirilen kuru sediman parsellerinin tamamı bitkisiz alanlardan seçilmiştir. Fakat açığa çıkan tatlısu sedimanlarının zengin besin maddesi içerikleri sebebiyle bu bölgeler kurumadan sonraki süreçte hızlı bir şekilde çeşitli bitki türleriyle kaplanabilmektedir. Bitki örtüsü ise gün içi döngüde solunum ve fotosentez olaylarının ardışık şekilde gerçekleştiği bir mekanizma ile kuru alanlardan salınan veya alınan sera gazı miktarlarında değişikliklere sebep olabilmekte, fakat bu miktarlar bitki örtüsünün türüne ve yoğunluğuna bağlı olarak değişiklikler gösterebilmektedir. Bu sebeple kurak dönemlerde açığa çıkan sedimanlar için akı ölçümleri her üç sera gazı için de gün içi aydınlık ve karanlık periyotlarda bitkili ve bitkisiz alanlardan yeniden gerçekleştirilmelidir. Bu şekilde kuruma veya göl su seviye gerilemesi sebepleriyle açığa çıkan sedimanların atmosferik sera gazı bütçelerine katkısı bir miktar daha yüksek hassasiyetle belirlenebilir, bu çalışmanın farklı coğrafyalarda gerçekleştirilmesi ise kuru sedimanların küresel sera gazı bütçelerinde olan etkisinin daha net hesaplanmasına olanak sağlayabilir. CO₂ gazıyla birlikte eş zamanlı gerçekleştirilecek CH₄ ve N₂O akılarının belirlenmesi ise açığa çıkan tatlısu sedimanlarından atmosphere salınan karbon eşdeğeri toplam sera gazı miktarlarının, diğer bir ifade ile küresel ısınma potansiyelinin bütüncül olarak belirlenmesi bakımından önemlidir.

Ayrıca besin maddesi ve mikrobiyolojik bakımdan oldukça zengin bir ortam olan tatlısu sedimanlarında sera gazı oluşum süreçlerinde etkin mikrobiyolojik türlerin belirlenmesi önemlidir. Bu sayede sera gazı akılarında etkili olan biyotik ve abiyotik mekanizmaların detaylı olarak anlaşılması sağlanabilir.

7. KAYNAKLAR

Bu tez çalışmasında APA atıf sistemi kullanılmıştır.

- Abido, W.A.E., Hadrázy, Á., Henszel, I. (2020). Effect of tillage method on carbon-dioxide emission and soil properties under two soil surface levels. *Acta Ecologica Sinica*, 40(3), 210-213.
- Achtnich, C., Bak, F., & Conrad, R. (1995). Competition for electron donors among nitrate reducers, ferric iron reducers, sulfate reducers, and methanogens in anoxic paddy soil. *Biology and Fertility of Soils*, 19 (1), 65-72.
- Althoff, F., Benzing, K., Comba, P., McRoberts, C., Boyd, D. R., Greiner, S., & Keppler, F. 2014. Abiotic methanogenesis from organosulphur compounds under ambient conditions. *Nature Communications*, 5, 4205
- Arce, M.I., Mendoza-Lera, C., Almagro, M., Catalán, N., Romaní, A.M., Marti, E., vd. (2019). A conceptual framework for understanding the biogeochemistry of dry riverbeds through the lens of soil science, *Earth-Science Reviews*, 188, 441-453.
- Akatsuka, T. & Mitamura, O. (2011). Response of denitrification rate associated with wetting and drying cycles in a littoral wetland area of Lake Biwa, Japan. *Limnology*, 12, 127– 135.
- Babbin, A. R., Bianchi, D., Jayakumar, A., & Ward, B. B. (2015). Rapid nitrous oxide cycling in the suboxic ocean. *Science*, 348, No: 6239.
- Barinova, S., Romanov, R. & Solak, C.N. (2014). New record of Chara Hispida (L.) Hartm. (Streptophyta: Charophyceae, Charales) from the Işıklı Lake (Turkey) and critical checklist of Turkish Charophytes. *Natural Resources and Conservation*, 2(3), 33-42.
- Battin, T. J., Luyssaert, S., Kaplan, L. A., Aufdenkampe, A. K., Richter, A., & Tranvik, L. J. (2009). The boundless carbon cycle. *Nature Geoscience*, 2, 598-600.
- Boodoo, K. S., Trauth, N., Schmidt, C., Schelker, J., & Battin, T. J. (2017). Gravel bars are sites of increased CO₂ outgassing in stream corridors. *Scientific Reports*, 7, 14401.
- Baggs, E. M. (2011). Soil microbial sources of nitrous oxide: recent advances in knowledge, emerging challenges and future direction. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(5), 321–327.
- Bastviken, D., Cole, J., Pace, M., & Tranvik, L. (2004). Methane emissions from lakes: dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate. *Global Biogeochemical Cycles*, 18, GB4009.

- Bastviken, D., Cole, J. J., Pace, M. L., & Van de Bogert, M. C. (2008). Fates of methane from different lake habitats: Connecting whole-lake budgets and CH₄ emissions. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 113, G02024.
- Bastviken, D., Tranvik, L. J., Downing, J. A., Crill, P. M., & Enrich-Prast, A. (2011). Freshwater methane emissions offset the continental carbon sink. *Science*, 331 (6013), p50.
- Batjes, N. H. (2009). Harmonized soil profile data for applications at global and continental scales: updates to the WISE database. *Soil Use and Management*, 25, 124–127.
- Beringer, J., Livesley, S. J., Randle, J., & Hutley, L. B. (2013). Carbon dioxide fluxes dominate the greenhouse gas exchanges of a seasonal wetland in the wet-dry tropics of northern Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 182-183, 239-247.
- Bhanja, S. N. & Wang, J. (2020). Estimating influences of environmental drivers on soil heterotrophic respiration in the Athabasca River Basin, Canada. *Environmental Pollution*, 257, 113630.
- Bollmann, A. & Conrad, R. (1998). Influence of O₂ availability on NO and N₂O release by nitrification and denitrification in soils. *Global Change Biology*, 4(4), 387-396.
- Bosse, U. & Frenzel, P. (1997). Activity and Distribution of Methane-Oxidizing Bacteria in Flooded Rice Soil Microcosms and in Rice Plants (*Oryza sativa*). *Applied and Environmental Microbiology*, 63, 1199-1207.
- Brune, A. (2018). Methanogenesis in the Digestive Tracts of Insects and Other Arthropods. In: Biogenesis of Hydrocarbons [Stams, A. and D. Sousa (eds.)]. Springer, Cham, Switzerland, pp. 1–32.
- Bulut, C. & Kubilay, A. (2018). Eğirdir Gölü su kalitesinin trofik durum indeksleriyle belirlenmesi. *Acta Aquatica Turcica*, 14(4), 324-338.
- Butman, D. & Raymond, P. A. (2011). Significant efflux of carbon dioxide from streams and rivers in the United States. *Nature Geoscience*, 4, 839-842.
- Caldwell, S. L., Laidler, J. R., Brewer, E. A., Eberly, J. O., Sandborgh, S. C., & Colwell, F. C. (2008). Anaerobic oxidation of methane: mechanisms, bioenergetics, and the ecology of associated microorganisms. *Environmental Science & Technology*, 42, 6791-6799.
- Catalan, N., von Schiller, D., Marce, R., Koschorreck, M., Gomez-Gener, L., & Obrador, B. (2014). Carbon dioxide efflux during the flooding phase of temporary ponds. *Limnetica*, 33, 349-360.
- Capone, D. G. & Kiene, R. P. (1988). Comparison of microbial dynamics in marine and freshwater sediments: Contrasts in anaerobic carbon catabolism. *Limnology and Oceanography*, 33,

- Catalan, N., von Schiller, D., Marce, R., Koschorreck, M., Gomez-Gener, L., & Obrador, B. (2014). Corban dioxide efflux during the flooding phase of temporary ponds. *Limnetica*, 33 (2), 349-360.
- Chandra, N., Patra, P. K., Bisht, J. S. H., Ito, A., Umezawa, T., Saigusa, N., Morimoto, S., Aoki, S., Janssen-Maenhout, G., Fujita, R., Takigawa, M., Watanabe, S., Saitoh, N., & Canadell, J. G. (2021). Emissions from the Oil and Gas Sectors, Coal Mining and Ruminant Farming Drive Methane Growth over the Past Three Decades. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Series II*, 99(2), 309–337.
- Chen, G. C., Tam, N. F. Y., & Ye, Y. (2010). Summer fluxes of atmospheric greenhouse gases N₂O, CH₄ and CO₂ from mangrove soil in South China. *Science of the Total Environment*, 408, 2761-2767.
- Chen, H., Mothapo, N. V., & Shi, W. (2015). Soil moisture and pH control relative contributions of fungi and bacteria to N₂O production. *Microbial Ecology*, 69, 180–191.
- Chen, H., Zou, J., Cui, J., Nie, M., & Fang, C. (2018). Wetland drying increases the temperature sensitivity of soil respiration. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 24–27.
- Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., Chhabra, A., DeFries, R., Galloway, J., Heimann, M., Jones, C., Le Quéré, C., Myneni, R. B., Piao, S., & Thornton, P. (2013). Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Ciais, P., Tan, J., Wang, X., Roedenbeck, C., Chevalier, F., Piao, S. L., Moriarty, R., Broquet, G., Le Quere, C., Canadell, J. G., Peng, S., Poulter, B., Liu, Z., & Tans, P. (2019). Five decades of northern land carbon uptake revealed by the interhemispheric CO₂ gradient. *Nature*, 568(7751), 221–225.
- Cole, J. J., Prairie, Y. T., Caraco, N. F., McDowell, W. H., Tranvik, L. J., Striegl, R. G., Duarte, C. M., Kortelainen, P., Downing, J. A., Middelburg, J. J., & Melack, J. (2007). Plumbing the Global Carbon Cycle: Integrating Inland Waters into the Terrestrial Carbon Budget. *Ecosystems*, 10(1):172–185.
- Collier, S. M., Ruark, M. D., Oates, L. G., Jokela, W. E., & Dell, C. J. (2014). Measurement of greenhouse gas flux from agricultural soils using static chambers. *Journal of Visualized Experiments*, 90, e52110.

- Covey, K. R. & Megonigal, J. P. (2019). Methane production and emissions in trees and forests. *New Phytologist*, 222(1), 35–51.
- Cowan, N. J., Famulari, D., Levy, P. E., Anderson, M., Bell, M. J., Rees, R. M., Reay, D. S., & Skiba, U. M. (2014). An improved method for measuring soil N₂O fluxes using a quantum cascade laser with a dynamic chamber. *European Journal of Soil Science*, 65, 643-652.
- Cuhel, J., Simek, M., Laughlin, R. J., Bru, D., Chèneby, D., Watson, C. J., & Philippot, L. (2010). Insights into the effect of soil pH on N₂O and N₂ emissions and denitrifier community size and activity. *Applied and Environmental Microbiology*, 76, 1870–1878.
- Crippa, M., Solazzo, E., Huang, G., Guizzardi, D., Koffi, E., Muntean, M., Schieberle, C., Friedrich, R., & Janssen-Maenhout, G. (2020). High resolution temporal profiles in the Emissions Database for Global Atmospheric Research. *Scientific Data*, 7(1), 121.
- Çelik, F. (2007). Vangölü Havzası kuşburnu genetik kaynaklarının seleksiyonu ve mevcut biyolojik çeşitliliğin tespiti. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı* Doktora Tezi, Van.
- Dalal, R. C. & Allen, D. E. (2008). Greenhouse gas fluxes from natural ecosystems. *Turner review no. 18, Australian Journal of Botany*, 56, 369–407.
- De Groot, C. J. & Van Wijck, C. (1993). The impact of desiccation of a freshwater marsh (Garcines Nord, Camargue, France) on sediment-water-vegetation interactions – Part 1: the sediment chemistry. *Hydrobiologia*, 252, 83–94.
- de Vries, W., Du, E., & Butterbach-Bahl, K. (2014). Short and long-term impacts of nitrogen deposition on carbon sequestration by forest ecosystem. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 9, 90-104.
- Dean, W. E. & Gorham, E. (1998). Magnitude and significance of carbon burial in lakes, reservoirs, and peatlands. *Geology*, 26(6), 535–538.
- DelVecchio, A. G., Balik, J. A., Campbell, S. K., Taylor, B. W., West, D. C., & Wissinger, S. A. (2019). Carbon dioxide concentrations and efflux from permanent, semi-permanent, and temporary subalpine ponds. *Wetlands*, 39, 955-969.
- Denier van der Gon, H. A. C., van Breemen, N., Neue, H. U., Lantin, R. S., Aduna, J. B., Alberto, M. C. R., & Wassmann, R. (1996). Release of entrapped methane from wetland ricefields upon soil drying. *Global Biogeochemical Cycles*, 10, 1–9.
- Deshmukh, C., Guerin, F., Vongkhamsoo, A., Pighini, S., Oudone, P., Sopraseuth, S., Godon, A., Rode, W., Guedant, P., Oliva, P., Audry, S., Zouiten, C., Galy-Lacaux, C., Robain, H., Ribolzi, O., Kansal, A., Chanudet, V., Descoux, S., & Serça, D. (2018). Carbon dioxide emissions from the flat bottom and shallow Nam Theun 2 Reservoir: drawdown area as a

- neglected pathway to the atmosphere. *Biogeosciences*, 15, 1775-1794.
- Dowrick, D. J., Freeman, C., Lock, M. A., & Reynolds, B. (2006). Sulphate reduction and the suppression of peatland methane emissions following summer drought. *Geoderma*, 132, 384–390.
- Drake, J. E., Macdonald, C. A., Tjoelker, M. G., Reich, P. B., Singh, B. K., Anderson, I. C., & Ellsworth, D. S. (2018). Three years of soil respiration in a mature eucalypt woodland exposed to atmospheric CO₂ enrichment. *Biogeochemistry*, 139(1), 85–101.
- Einsele, G., Yan, J., & Hinderer, M. (2001). Atmospheric carbon burial in modern lake basins and its significance for the global carbon budget. *Global and Planetary Change*, 30(3-4), 167–195.
- Elgharably, A., & Marschner, P. (2011). Microbial activity and biomass and N and P availability in a saline sandy loam amended with inorganic N and lupin residues. *European Journal of Soil Biology*, 47(5), 310–315.
- Ernfors, M., von Arnold, K., Stendahl, J., Olsson, M., & Klemetsson, L. (2007). Nitrous oxide emissions from drained organic forest soils—an up-scaling based on C:N ratios. *Biogeochemistry*, 84, 219–231.
- Feng Z. & Zhu, L. (2017). Impact of biochar on soil N₂O emissions under different biochar-carbon/fertilizer-nitrogen ratios at a constant moisture condition on a silt loam soil. *Science of the Total Environment*, 584-585, 776-782.
- Fiedler, S., Höll, B. S., & Jungkunst, H. F. (2005). Methane budget of a black forest spruce ecosystem considering soil pattern. *Biogeochemistry*, 76, 1-20.
- Firestone, M. K. & Davidson, E. A. (1989). Microbiological basis on NO and N₂O production and consumption in soil. *Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere*. Eds Andreae, M. O. & Schimel, D. S. pp. 7-21. John Wiley & Sons Ltd.
- Friedlingstein, P., O’Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Hauck, J., vd., (2020). Global Carbon Budget 2020. *Earth System Science Data*, 12(4), 3269–3340.
- Freing, A., Wallace, D. W. R., & Bange, H. W. (2012). Global oceanic production of nitrous oxide. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 367, 1593.
- Fumoto, T., Kobayashi, K., Li, C., Yagi, K., & Hasegawa, T. (2008). Revising a process-based biogeochemistry model (DNDC) to simulate methane emission from rice paddy fields under various residue management and fertilizer regimes. *Global Change Biology*, 14 (2), 382-402.
- Gao, B., Ju, X., Meng, Q., Christie, P., Chen, X., & Zhang, F. (2014). Nitrous oxide and methane

emissions from optimized and alternative cereal cropping systems on the North China Plain: a two-year field study. *Science of the Total Environment*, 15, 112-124.

- Garcia, J. L., Patel, B. K. C., & Ollivier, B. (2000). Taxonomic, phylogenetic, and ecological diversity of methanogenic Archae. *Anaerobe* 6, 205-226.
- Ghosh, A., Patra, P. K., Ishijima, K., Umezawa, T., Ito, A., Etheridge, D. M., Sugawara, S., Kawamura, K., Miller, J. B., Dlugokency, E. J., Krummel, P. B., Fraser, P. J., Steele, L. P., Langenfelds, R. L., Trudinger, C. M., White, J. W. C., Vaughn, B., Saeki, T., Aoki, S., & Nakazawa, T. (2015). Variations in global methane sources and sinks during 1910–2010. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(5), 2595–2612.
- Gilbert, B. & Frenzel, P. (1995). Methanotrophic bacteria in the rhizosphere of rice microcosms and their effect on porewater methane concentration and methane emission. *Biology and Fertility of Soils*, 20, 93-100.
- Gilbert, P. J., Cooke, D. A., Deary, M., Taylor, S., & Jeffries, M. J. (2017). Quantifying rapid spatial and temporal variations of CO₂ fluxes from small, lowland freshwater ponds. *Hydrobiologia*, 793, 83-93.
- Giles, M., Morley, N., Baggs, E. M., & Daniell, T. J. (2012). Soil nitrate reducing processes- drivers, mechanisms for spatial variation, and significance for nitrous oxide production. *Frontiers in Microbiology*, 3, 407.
- Gomez-Gener, L., Obrador, B., von Schiller, D., Marce, R., Casas-Ruiz, J. P., Proia, L., Acuna, V., Catalan, N., Munoz, I., & Koschorreck, M. (2015). Hot spots for carbon emissions from Mediterranean fluvial networks during summer drought. *Biogeochemistry*, 125, 409–426.
- Gomez-Gener, L., Obrador, B., Marce, R., Acuna, V., Catalan, N., Casas-Ruiz, J. P., Sabater, S., Munoz, I., & Von Schiller, D. (2016). When water vanishes: Magnitude and regulation of carbon dioxide emissions from dry temporary streams. *Ecosystems*, 19, 710-723.
- Graven, H. D., Allison, C. E., Etheridge, D. M., Hammer, S., Keeling, R. F., Levin, I., Meijer, H. A. J., Rubino, M., Tans, P. P., Trudinger, C. M., Vaughn, B. H., & White, W. C. (2017). Compiled records of carbon isotopes in atmospheric CO₂ for historical simulations in CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 10(12), 4405–4417.
- Gruber, N., Landschützer, P., & Lovenduski, N. S. (2019). The variable Southern Ocean carbon sink. *Annual Review of Marine Science*, 11(1), 159–186.
- GSAEP: Goller ve Sulak Alanlar Eylem Planı 2017-2023, (2017). T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Gundersen, P., Christiansen, J.R., Alberti, G., Brüggemann, N., Castaldi, S., Gasche, R., Kitzler, B., Klemetsson, L., Lobo-do-Vale, R., Moldan, F., Rütting, T., Schleppi, P., Weslien, P., &

- Zechmeister-Boltenstern, S. (2012). The response of methane and nitrous oxide fluxes to forest change in Europe. *Biogeosciences*, 9, 3999-4012.
- Gülle, İ., Küçük, F. & Güçlü, S.S. (2022). Dünden bugüne Beyşehir Gölü (Isparta-Konya, Türkiye) Balıkçılığı ve durum analizi. *Acta Aquatica Turcica*, 18(4), 436-450.
- Gülle, İ. (2011). Burdur, Salda ve Acıgöl'ün Fitoplanktonik ve Trofik Özelliklerinin İncelenmesi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi, Proje No.0010-Nap-07.
- HADB, (2013). Hassas Alanlar Daire Başkanlığı – Sulak Alanlar Şube Müdürlüğü. Karataş Gölü. T. C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.
- Hansen, S., Frøseth, R., Stenberg, M., Stalenga, J., Olesen, J. E., Krauss, M., Radzikowski, P., Doltra, J., Nadeem, S., Torp, T., & Pappa, A. V. (2019). Reviews and syntheses: Review of causes and sources of N₂O emissions and NO₃ leaching from organic arable crop rotations. *Biogeosciences*, 16(14), 2795-2819.
- Hartmann, J., West, A. J., Renforth, P., Köhler, P., De La Rocha, C. L., Wolf-Gladrow, D. A., Dürr, H. H., & Scheffran, J. (2013). Enhanced chemical weathering as a geoengineering strategy to reduce atmospheric carbon dioxide, supply nutrients, and mitigate ocean acidification. *Reviews of Geophysics*, 51(2), 113–149.
- Hemer, M. A., Katzfey, J., & Trenham, C. E. (2013). Global dynamical projections of surface ocean wave climate for a future high greenhouse gas emission scenario. *Ocean Modelling*, 70, 221-245.
- Holgerson, M. A. & Raymond, P. A. (2016). Large contribution to inland water CO₂ and CH₄ emissions from very small ponds. *Nature Geoscience*, 9, 222–226.
- Hmiel, B., Petrenko, V. V., Dyonisius, M. N., Buizert, C., Smith, A. M., vd., (2020). Preindustrial 14CH₄ indicates greater anthropogenic fossil CH₄ emissions. *Nature*, 578(7795), 409–412.
- IPCC. (2007). Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391.

- Ishidoya, S., Aoki, S., Goto, D., Nakazawa, T., Taguchi, S., & Patra, P. K. (2012). Time and space variations of the O₂/N₂ ratio in the troposphere over Japan and estimation of the global CO₂ budget for the period 2000–2010. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 64(1), 18964.
- Janssens, I. A., Kowalski, A. S., Longdoz, B., & Ceulemans, R. (2000). Assessing forest soil CO₂ efflux: an in-situ comparison of four techniques. *Tree Physiology*, 20, 23–32.
- Janssens-Maenhout, G., Crippa, M., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Dentener, F., Bergamaschi, P., Pagliari, V., Olivier, J. G. J., Peters, J. A. H. W., van Aardenne, J. A., Monni, S., Doering, U., Petrescu, A. M. R., Solazzo, E., & Oreggioni, G. D. (2019). EDGAR v4.3.2 Global Atlas of the three major greenhouse gas emissions from the period 1970-2021. *Earth System Science Data*, 11 (3), 959-1002.
- Jayaprakasha, G. K., Selvi, T., & Sakariah, K. K. (2003). Antibacterial and antioxidant activities of grape seed extracts. *Food research international*, 36(2), 117-122.
- Jeppesen, E., Sondergaard, M., Sortkjaer, O., Mortensen, E., & Kristensen, P. (1990). Interactions between sediment and water in a shallow and hypertrophic lake: a study on phytoplankton collapses in Lake Søbygård, Denmark. *Hydrobiologia*, 191, 139–148.
- Jin, H., Yoon, T. K., Lee, S. H., Kang, H., Im, J., & Park, J. H. (2006). Enhanced greenhouse gas emission from exposed sediments along a hydroelectric reservoir during an extreme drought event. *Environmental Research Letters*, 11, 124003.
- Joabson, A. & Christensen, T. R. (2001). Methane emissions from wetlands and their relationship with vascular plants: an Arctic example. *Global Change Biology*, 7, 919-932.
- Jones, H. A. & Nedwell, D. B. (1993). Methane emission and methane oxidation in land-fill cover soil. *FEMS Microbiology Ecology*, 11, 185-195.
- Jungkunst, H. F., Freibauer, A., Neufeldt, H., & Bareth, G. (2006). Nitrous oxide emissions from agricultural land use in Germany—a synthesis of available annual field data. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169(3), 341-351.
- Kahmark, K., Millar, N., & Robertson, G. P. (2020). Static chamber method for measuring soil greenhouse gas fluxes. KBS LTER Special Publication, Michigan State University, USA.
- Kaye, J. P., Burke, I. C., Mosier, A. R., & Guerschman, J. P. (2004). Methane and nitrous oxide fluxes from urban soils to the atmosphere. *Ecological Applications*, 14 (4), 975-981.
- Kaye, J. P., Groffman, P. M., Grimm, N. B., Baker, L. A., & Pouyat, R. V. (2006). A distinct urban biogeochemistry? *Trends Ecology Evolution*, 21, 192–199.
- Keeling, C. D., Whorf, T. P., Wahlen, M., & van der Plicht, J. (1995). Interannual extremes in the

rate of rise of atmospheric carbon dioxide since 1980. *Nature*, 375, 666–670.

- Keeling, R. F. & Manning, A. C. (2014) Studies of Recent Changes in Atmospheric O₂ Content. In: *Treatise on Geochemistry* (Second Edition) [Holland, H.D. and K.K. Turekian (eds.)]. Elsevier, pp. 385–404.
- Keeling, R. F., Graven, H. D., Welp, L. R., Resplandy, L., Bi, J., Piper, S. C., Sun, Y., Bollenbacher, A., & Meijer, H. A. J. (2017). Atmospheric evidence for a global secular increase in carbon isotopic discrimination of land photosynthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(39), 10361–10366.
- Keller, P. S., Catalan, N., von Schiller, D., Grossart, H. P., Koschorreck, M., vd., (2020). Global CO₂ emissions from dry inland waters share common drivers across ecosystems. *Nature Communications*, 11(1), 2126.
- Kellner, E., Baird, A. J., Oosterwoud, M., Harrison, K., & Waddington, J. M. (2006). Effect of temperature and atmospheric pressure on methane (CH₄) ebullition from near-surface peats. *Geophysical Research Letters*, 13, L18405.
- Kesmez, C.Ö. & Dalkıran, N. (2023). Uluabat Gölü (Bursa) yüzey suyu kalitesinin çok değişkenli istatistiksel yöntemler ile değerlendirilmesi. *Acta Aquatica Turcica*, 19, 1-17.
- Kim, Y., Ueyama, M., Nakagawa, F., Tsunogai, U., Harazono, Y., & Tanaka, N. (2007). Assessment of winter fluxes of CO₂ and CH₄ in boreal forest soils of central Alaska estimated by the profile method and the chamber method: a diagnosis of methane emission and implications for the regional carbon budget. *Tellus*, 59B, 223-233.
- King, G. M., Roslev, P., & Skovgaard, H. (1990). Distribution and rate of methane oxidation in sediments of the Florida Everglades. *Applied and Environmental Microbiology*, 56, 2902-2911.
- Klüber, H. D. & Conrad, R. (1998). Effects of nitrate, nitrite, NO and N₂O on methanogenesis and other redox processes in anoxic rice field soil. *FEMS Microbiology Ecology*, 25, 301–318.
- Koschorreck, M. (2000). Methane turnover in exposed sediments of an Amazon floodplain lake. *Biogeochemistry*, 50, 195-206.
- Koschorreck, M. & Darwich, A. (2003). Nitrogen dynamics in seasonally flooded soils in the Amazon floodplain. *Wetlands Ecology and Management*, 11, 317-330.
- Kosten, S., van den Berg, S., Mendonça, R., Paranaíba, J. R., Roland, F., Sobek, S., van den Hoek, J., & Barros, N. (2018). Extreme drought boosts CO₂ and CH₄ emissions from reservoir drawdown areas. *Inland Waters*, 8, 329-340.
- Kögel-Knabner, I., Amelung, W., Cao, Z., Fiedler, S., Frenzel, P., Jahn, R., Kalbitz, K., Köbl, A.,

- & Schlöter, M. (2010). Biogeochemistry of paddy soils. *Geoderma*, 157, 1-14.
- Kutbay, H. G., & Coşgun, M. (1996). Kuşburnu (Rosa L.) türlerinin taksonomik özellikleri ve Türkiye'deki yayılışı. *Kuşburnu sempozyumu*, 5-6 Eylül 1996, Gümüşhane, Türkiye, s.75-83.
- Külköylüoğlu, O. (2005). Ecology and phenology of freshwater ostracods in Lake Gökçöy (Bolu, Turkey). *Aquatic Ecology*, 39, 295-304.
- Lamparter, A., Bachmann, J., Goebel, M.O., & Woche, S. K. (2009). Carbon mineralization in soil: Impact of wetting–drying, aggregation and water repellency. *Geoderma*, 150, 324-333.
- Lau, M. P., Sander, M., Gelbrecht, J., & Hupfer, M. (2015). Solid phases as important electron acceptors in freshwater organic sediments. *Biogeochemistry*, 123, 49–61.
- Lauerwald, R., Laruelle, G. G., Hartmann, J., Ciais, P., & Regnier, P. A. G. (2015). Spatial patterns in CO₂ evasion from the global river network. *Global Biogeochemical Cycles*, 29(5), 534–554.
- Launiainen, S., Rinne, J., Pumpanen, H., vd., (2005). Eddy covariance measurements of CO₂ and sensible and latent heat fluxes during a full year in a boreal pine forest trunk-space. *Boreal Environment Research*, 10, 569-588.
- Le Mer, J. & Roger, P. (2001). Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review. *European Journal of Soil Biology*, 37, 25-50.
- Leifeld, J., Klein K., & Wüst-Galley, C. (2000). Soil organic matter stoichiometry as indicator for peatland degradation. *Scientific Reports*, 10(1), 1-9.
- Lesmeister, L. & Koschorreck, M. (2017). A closed-chamber method to measure greenhouse gas fluxes from dry aquatic sediments. *Atmospheric Measurement Techniques*, 10, 2377-2382.
- Levin, I., Naegler, T., Kromer, B., Diehl, M., Francey, R. J., Gomez-Pelaez, A. J., Steele, L. P., Wagenbach, D., Weller, R., & Worthy, D. E. (2010). Observations and modelling of the global distribution and long-term trend of atmospheric ¹⁴CO₂. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 62(1), 26–46.
- Li, Y., Dong, S., Liu, S., Zhou, H., Gao, Q., Cao, G., Wang, X., Su, X., Zhang, Y., Tang, L., Zhao, H., & Wu, X. (2015). Seasonal changes of CO₂, CH₄ and N₂O fluxes in different types of alpine grassland in the Qinghai-Tibetan Plateau of China. *Soil Biology and Biochemistry*, 80, 306-314.
- Li, S., Bush, R. T., Santos, I. R., Zhang, Q., Song, K., Mao, R., Wen, Z., & Lu, X. X. (2018a). Large greenhouse gases emissions from China's lakes and reservoirs. *Water Research*, 147, 13-24.

- Li, Y., Zhao, M., & Li, F. (2018b). Soil respiration in typical plant communities in the wetland surrounding the high-salinity Ebinur Lake. *Frontiers in Earth Science*, 12(3), 611-624.
- Liikanen, A., Murtoniemi, T., Tanskanen, H., Vaisanen, T., & Martikainen, P. J. (2002). Effects of temperature and oxygen availability on greenhouse gas and nutrient dynamics in sediment of a eutrophic mid-boreal lake. *Biogeochemistry*, 59, 269-286.
- Liu, W. Z., Xiong, Z. Q., Liu, H., Zhang, Q. F., & Liu, G. H. (2016). Catchment agriculture and local environment affecting the soil denitrification potential and nitrous oxide production of riparian zones in the Han River Basin, China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 216, 147-154.
- Liu, Y., Liu, G., Xiong, Z., & Liu, W. (2017). Response of greenhouse gas emissions from three types of wetland soils to simulated temperature change on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Atmospheric Environment*, 171, 17-24.
- Liu, L., Zhuang, Q., Oh, Y., Shurpali, N. J., Kim, S., & Poulter, B. (2020). Uncertainty quantification of global net methane emissions from terrestrial ecosystems using a mechanistically-based biogeochemistry model. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 125(6), e2019JG005428.
- Llobera, A., & Canellas, J. (2007). Dietary fibre content and antioxidant activity of Manto Negro red grape: pomace and stem. *Food chemistry*, 101(2), 659-666.
- Loisel, J., Yu, Z., Beilman, D. W., Camill, P., Alm, J., vd. (2014). A database and synthesis of northern peatland soil properties and Holocene carbon and nitrogen accumulation. *The Holocene*, 24, 1028-1042.
- Ludwig, J., Meixner, F. X., Vogel, B., & Förstner, J. (2001). Soil-air exchange of nitric oxide: An overview of processes, environmental factors, and modeling studies. *Biogeochemistry*, 52, 225-257.
- Mancinelli, R., Marinari, S., Di Felice, V., Savin, M. C., & Campiglia, E. (2013). Soil property, CO₂ emission and aridity index as agroecological indicators to assess the mineralization of cover crop green manure in a Mediterranean environment. *Ecological Indicators*, 34, 31-40.
- Marce, R., Obrador, B., Gomez-Gener, L., Catalan, N., Koschorreck, M., Arce, M.I., Singer, G., & von Schiller, D. (2019). Emissions from dry inland waters are a blind spot in the global carbon cycle. *Earth-Science Reviews*, 188, 240-248.
- Martinsen, K. T., Kragh, T., & Sand-Jensen, K. (2019). Carbon dioxide fluxes of air-exposed sediments and desiccating ponds. *Biogeochemistry*, 144, 165-180.
- Mavi, M. S., Marschner, P., Chittleborough, D. J., Cox, J. W., & Sanderman, J. (2012). Salinity and sodicity affect soil respiration and dissolved organic matter dynamics differentially in soils

- varying in texture. *Soil Biology and Biochemistry*, 45, 8–13.
- McDaniel, M. D., Saha, D., Dumont, M. G., Hernandez, M., & Adams, M. A. (2019). The effect of land-use change on soil CH₄ and N₂O fluxes: A global meta-analysis. *Ecosystems*, 22, 1424–1443.
- Megonigal, J. P., Hines, M. E., & Visscher, P. T. (2004). Anaerobic metabolism: linkages to trace gases and aerobic processes. In *Biogeochemistry*, ed. W.H. Schlesinger, 317–424. Oxford: Elsevier-Pergamon.
- Mendonça, R., Müller, R. A., Clow, D., Verpoorter, C., Raymond, P., Tranvik, L. J., & Sobek, S. (2017). Organic carbon burial in global lakes and reservoirs. *Nature Communications*, 8(1), 1–6.
- Miller, G. A., Rees, R. M., Griffiths, B. S., & Cloy, J. M. (2020). Isolating the effect of soil properties on agricultural soil greenhouse gas emissions under controlled conditions. *Soil Use and Management*, 36(2), 285–298.
- Moitinho, M. R., Padovan, M. P., Panosso, A. R., Teixeira, D. D. B., Ferraudo, A. S., & La Scala Jr., N. (2015). On the spatial and temporal dependence of CO₂ emission on soil properties in sugarcane (*Saccharum* spp.) production. *Soil and Tillage Research*, 148, 127–132.
- Moitinho, M. R., Teixeira, D. D. B., Bicalho, E. D. S., Panosso, A. R., Ferraudo, A. S., Pereira, G. T., Tsai, S. M., Borges, B. M. F., & La Scala Jr, N. (2021). Soil CO₂ emission and soil attributes associated with the microbiota of a sugarcane area in southern Brazil. *Scientific Reports*, 11, 8325.
- Mori, T., Wachrinrat, C., Staporn, D., Meunpong, P., Suebsai, W., Matsubara, K., Broonsri, K., Lumban, W., Kuawong, M., Phukdee, T., Srifai, J., & Boonman, K. (2017). Effects of phosphorus addition on nitrogen cycle and fluxes of N₂O and CH₄ in tropical tree plantation soils in Thailand. *Agriculture and Natural Resources*, 51(2), 91–95.
- Mosier, A., Duxbury, J. M., Freney, J. R., Heinemeyer, O., & Minami, K. (1998). Assessing and mitigating N₂O emissions from agricultural soils. *Climate Change*, 40, 7–38.
- Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F. M., Collins, W., Fuglestedt, J., Huang, J., Koch, D., Lamarque, J.-F., Lee, D., Mendoza, B., Nakajima, T., Robock, A., Stephens, G., Takemura, T., & Zhang, H. (2013). Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Myklebust, M., Hipps, L., & Ryel, R. J. (2008). Comparison of eddy covariance, chamber, and

- gradient methods of measuring soil CO₂ efflux in an annual semi-arid grass, *Bromus tectorum*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148, 1894-1907.
- Nay, S. M., Mattson, K. G., & Bormann, B. T. (1994). Biases and chamber methods for measuring soil CO₂ efflux demonstrated with a laboratory apparatus. *Ecology*, 75(8), 2460-2463.
- Neue, H. U. & Roger, P. A. (1994). Potential of methane emission in major rice ecologies, in: Zepp R.G. (Ed.), *Climate Biosphere Interaction: Biogenic Emissions and Environmental Effects of Climate Change*, John Wiley and Sons, pp. 65–93.
- Nicolini, G., Castaldi, S., Fratini, G., & Valentini, G. (2013). A literature review of micrometeorological CH₄ and N₂O flux measurements in terrestrial ecosystems. *Atmospheric Environment*, 81, 311-319.
- Nugroho, R. A., Röling, W. F. M., Laverman, A. M., & Verhoef, H.A. (2007). Low nitrification rates in acid Scots pine forest soils are due to pH-related factors. *Microbial Ecology*, 53, 89-97.
- Oades, J. M. (1988). The retention of organic matter in soils. *Biogeochemistry*, 5, 35–70.
- Obrador, B., von Schiller, D., Marce, R., Gomez-Gener, L., Koschorreck, M., Borrego, C., & Catalan, N. (2018). Dry habitats sustain high CO₂ emissions from temporary ponds across seasons. *Scientific Reports*, 8, 3015.
- Oertel, C., Matschullat, J., Zurba, K. & Zimmermann, F. (2016). Greenhouse gas emissions from soils – A review. *Chemie der Erde*, 76, 327-352.
- Ojanen, P., Minkinen, K., Alm, J., & Penttilä, T. (2010). Soil-atmosphere CO₂, CH₄ and N₂O fluxes in boreal forestry-drained peatlands. *Forest Ecology and Management*, 260, 411-421.
- Özbayram, E.G., Köker, L., Akçaalan, R., Aydın, F., Ertürk, A., İnce, O. & Albay, M. (2021). Contrasting the water quality and community patterns in shallow and deep lakes: Manyas vs. İznik. *Environmental Management*, 67, 506-512.
- Paranaíba, J. R., Aben, R., Barros, N., Quadra, G., Linkhorts, A., vd., (2022). Cross-continental importance of CH₄ emissions from dry inland-waters. *Science of the Total Environment*, 814, 151925.
- Pekel, J. F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540, 418–422.
- Peralta, A. L., Ludmer, S., Matthews, J. W., & Kent, A. D. (2014). Bacterial community response to changes in soil redox potential along a moisture gradient in restored wetlands. *Ecological Engineering*, 73, 246–253.
- Picek, T., Šimek, M., & Šantrůčková, H. (2000). Microbial responses to fluctuation of soil aeration

- status and redox conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 31, 315–322.
- Piché-Choquette, S., & Constant, P. (2019). Molecular hydrogen, a neglected key driver of soil biogeochemical processes. *Applied and Environmental Microbiology*, 85, e02418-18.
- Pilegaard, K., Skiba, U., Ambus, P., Beier, C., Brüggemann, N., Butterbach-Bahl, K., Dick, J., Dorsey, J., Duyzer, J., Gallagher, M., Gasche, R., Horvath, L., Kitzler, B., Leip, A., Pihlatie, M.K., Rosenkranz, P., Seufert, G., Vesala, T., Westrate, H., & Zechmeister-Boltenstern, S. (2006). Factors controlling regional differences in forest soil emission of nitrogen oxides (NO and N₂O). *Biogeosciences*, 3, 651-661.
- Pinto, R., Weigelhofer, G., Brito, A.G., & Hein, T. (2021). Effects of dry-wet cycles on nitrous oxide emissions in freshwater sediments: a synthesis. *PeerJ*, e10767.
- Poulter, B., Bousquet, P., Canadell, J. G., Ciais, P., Peregon, A., Saunois, M., Arora, V. K., Beerling, D. J., Brovkin, V., & Jones, C. D. (2017). Global wetland contribution to 2000–2012 atmospheric methane growth rate dynamics. *Environmental Research Letters*, 12(9), 094013.
- Quick, A. M., Reeder, W. J., Farrell, T. B., Tonina, D., Feris, K. P., & Benner, S. G. (2019). Nitrous oxide from streams and rivers: A review of primary biogeochemical pathways and environmental variables. *Earth-Science Reviews*, 191, 224-262.
- Raymond, P. A., Hartmann, J., Lauerwald, R., Sobek, S., McDonald, C., Hoover, M., Butman, D., Striegl, R., Mayorga, E., Humborg, C., Kortelainen, P., Dürr, H., Meybeck, M., Ciais, P., & Guth, P. (2013). Global carbon dioxide emissions from inland waters, *Nature*, 503(7476), 355-359.
- Regnier, P., Friedlingstein, P., Ciais, P., Mackenzie, F. T., Gruber, N., et al., (2013). Anthropogenic perturbation of the carbon fluxes from land to ocean. *Nature Geoscience*, 6(8), 597–607.
- Remde, A. & Conrad, R. (1991). Role of nitrification and denitrification for NO metabolism in soil. *Biogeochemistry*, 12, 189-205.
- Reth, S., Reichstein, M., & Falge, E. (2005). The effect of soil water content, soil temperature, soil pH-value and the root mass on soil CO₂ efflux—a modified model. *Plant and Soil*, 268(1), 21-33.
- Reverey, F., Grossart, H.-P., Premke, K., & Lischeid, G. (2016). Carbon and nutrient cycling in kettle hole sediments depending on hydrological dynamics: a review. *Hydrobiology*, 775, 1–20.
- Rochette, P., Ellert, B., Gregorich, E., Desjardins, R. L., Pattey, E., Lessard, R., & Johnson, B. G. (1997). Description of a dynamic closed chamber for measuring soil respiration and its comparison with other techniques. *Canadian Journal of Soil Science*, 77(2), 195-203.

- Rubino, M., Etheridge, D. M., Trudinger, C. M., Allison, C. E., Battle, M. O., Langenfelds, R. L., Steele, L. P., Curran, M., Bender, M., White, J. W. C., Jenk, T. M., Blunier, T., & Francey, R. J. (2013). A revised 1000 year atmospheric $\delta^{13}\text{C}$ -CO₂ record from Law Dome and South Pole, Antarctica. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(15), 8482–8499.
- Sagarra, K. E. A., Comerford, C., Slaughter, J., & Joye, S. B. (2013). Impact of electron acceptor availability on the anaerobic oxidation of methane in coastal freshwater and brackish wetland sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 115, 15-30.
- Saltelli, A. (2002). Making best use of model evaluations to compute sensitivity indices. *Computer Physics Communications*, 145, 280–297.
- Sander, O. B. & Wassmann, R. (2014). Common practices for manual greenhouse gas sampling in rice production: a literature study on sampling modalities of the closed chamber method. *Greenhouse Gas Measurement & Management*, 4 (1), 1-13.
- Sass, R. L., Fisher, F. M., Lewis, S. T., Jund, M. F., & Turner, F. T. (1994). Methane emissions from ricefields - effect of soil properties. *Global Biogeochemical Cycles*, 8, 135–140.
- Saunois, M., Stavert, A. R., Poulter, B., Bousquett, P., Canadell, J. G., vd., (2020). The Global Methane Budget 2000–2017. *Earth System Science Data*, 12(3), 1561–1623.
- Saygı-Başbuğ, Y. & Demirkalp, F.Y. (2004). Trophic status of shallow Yeniçağa Lake (Bolu, Turkey) in relation to physical and chemical environment. *Fresenius Environmental Bulletin*, 13, 385-393.
- Schimel, J., Balser, T. C., & Wallenstein, M. (2007). Microbial stress-response physiology and its implications for ecosystem function. *Ecology*, 88, 1386–1394.
- Schindlbacher, A., Zechmeister-Boltenstern, S. & Butterbach-Bahl, K. (2004). Effects of soil moisture and temperature on NO, NO₂, and N₂O emissions from European forest soils. *Journal of Geophysical Research D: Atmosphere*, 109, D17302.
- Serça, D., Deshmukh, C., Pighini, S., Oudone, P., Vongkhamsoo, A., Guedant, P., Rode, W., Godon, A., Chanudet, V., Descloux, S., & Guérin, F. (2016). Nam Theun 2 Reservoir four years after commissioning: significance of drawdown methane emissions and other pathways. *Hydroecologie Appliquée*, 19, 119-146.
- Silva, J. P., Lasso, A., Lubberding, H. J., Pena, M. R., & Gijzen, H. J. (2015). Biases in greenhouse gases static chambers measurements in stabilization ponds: Comparison of flux estimation using linear and non-linear models. *Atmospheric Environment*, 109, 130-138.
- Singh, S., Kumar, S., & Jain, M. C. (1997). Methane emission from two Indian soils planted with different rice cultivars. *Biology and Fertility of Soils*, 25, 285–289.

- Smith, G. J., Angie, J. C., Solden, L. M., Borton, M. A., Morin, T. H., vd., (2018). Members of the Genus *Methylobacter* Are Inferred To Account for the Majority of Aerobic Methane Oxidation in Oxic Soils from a Freshwater Wetland. *Applied and Environmental Science*, 9, No: 6.
- Sobek, S., Zürbrugg, R., & Ostrovsky, I. (2011). The burial efficiency of organic carbon in the sediments of Lake Kinneret. *Aquatic Sciences*, 73(3), 355–364.
- Snyder, C. S., Bruulsema, T. W., Jensen, T. L., & Fixen, P.E. (2009). Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 133 (3–4), 247–266.
- Soria, J., Perez, R. & Soria-Pepinya, X. (2022). Mediterranean coastal lagoons review: Sites to visit before disappearance. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10, 347.
- Sobol, I. M. (1993). Sensitivity Estimates for Nonlinear Mathematical Models. *MMCE* 1.4, 407–414.
- Springob, G., & Kirchmann, H. (2003). Bulk soil C to N ratio as a simple measure of net N mineralization from stabilized soil organic matter in sandy arable soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 35, 629–632.
- Stein, L. Y. & Klotz, M. G. (2016). Primer: the nitrogen cycle. *Current Biology*, 26, 94-98.
- Stiles, W. A., Rowe, E. C., & Dennis, P. (2018). Nitrogen and phosphorus enrichment effects on CO₂ and methane fluxes from an upland ecosystem. *Science of the Total Environment*, 618, 1199-1209.
- Suess, H. E. (1955). Radiocarbon Concentration in Modern Wood. *Science*, 122(3166), 415–417.
- Sukatar, A., Ertas, A., Gülle, İ. & Kızılkaya, İ.T. (2020). Trophic state assessment of brackish Bafa Lake (Turkey) based on community structure of zooplankton. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 6, 88-99.
- Sundh, I., Nilsson, M., Granberg, G., & Svensson, B. H. (1994). Depth distribution of microbial production and oxidation of methane in northern boreal peatlands. *Microbial Ecology*, 27, 253-265.
- Taseli, B. (2017). Influence of channel traffic and koycegiz lake on the water quality of dalyan channel network. *Environmental Engineering and Management Journal*, 16(12), 2755-2765.
- Tern Avustralya Ekosistem Araştırma Organizasyonu Web Sayfası: <https://www.tern.org.au/what-is-an-eddy-covariance-flux-tower/> Son erişim: 29.09.2023
- Thauer, R. K. & Shima, S. (2008). Methane as fuel for anaerobic microorganisms. *Annals of the*

- Thullner, M., Regnier, P., & Van Cappellen, P. (2007). Modeling microbially induced carbon degradation in redox-stratified subsurface environments: concepts and open questions. *Geomicrobiology Journal*, 24, 139–155.
- Tian, L., Akiyama, H., Zhu, B., & Shen, X. (2018). Indirect N₂O emissions with seasonal variations from an agricultural drainage ditch mainly receiving interflow water. *Environmental Pollution*, 242, 480-491.
- Tian, H., Yang, J., Xu, R., Lu, C., Canadell, J. G., vd., (2019). Global soil nitrous oxide emissions since the preindustrial era estimated by an ensemble of terrestrial biosphere models: Magnitude, attribution, and uncertainty. *Global Change Biology*, 25(2), 640–659.
- Tian, H., Xu, R., Canadell, J. G., Thompson, R. L., Winiwarter, W., vd., (2020). A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks. *Nature*, 586(7828), 248–256.
- Tong, C., Luo, M., Huang, J., She, C., Li, Y., & Ren, P. (2020). Greenhouse gas fluxes and porewater geochemistry following short-term pulses of saltwater and Fe(III) in a subtropical tidal freshwater estuarine marsh. *Geoderma*, 369, 114340.
- Tranvik, L. J., Downing, J. A., Cotner, J. B., Loiselle, S. A., Striegl, R. G., vd., (2009). Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and climate. *Limnology and Oceanography*, 54(6part2), 2298–2314.
- Tranvik, L. J., Cole, J. J., & Prairie, Y. T. (2018). The study of carbon in inland waters—from isolated ecosystems to players in the global carbon cycle. *Limnology and Oceanography Letters*, 3(3):41–48.
- Turnbull, J. C., Fletcher, S. E. M., Ansell, I., Brailsford, G. W., Moss, R. C., Norris, M. W., & Steinkamp, K. (2017). Sixty years of radiocarbon dioxide measurements at Wellington, New Zealand: 1954–2014. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17(23), 14771–14784.
- Türk-Çulha, S., Dereli, H., Karaduman, F.R., Erdoğan, M., Şen, Y. & Sömek, H. (2017). Assessment of Marmara Lake (Manisa-Turkey) water quality. Abstract ID: ECO-055. *1st International Symposium on Limnology and Freshwater Fisheries*, 4-6 October 2017, Eğirdir, Türkiye.
- Wagner, D. M., Pfeiffer, E., Mand, E., & Bock, E. (1999). Methane production in aerated marshland and model soils: effects of microflora and soil texture. *Soil Biology and Biochemistry*, 31, 999–1006.
- Wang, Y., Guo, J., Vogt, R. D., Mulder, J., Wang, J., & Zhang, X. (2018). Soil pH as the chief modifier for regional nitrous oxide emissions: new evidence and implications for global estimates and mitigation. *Global Change Biology*, 4(2), 617-626.

- Wang, C., Shen, J., Liu, J., Qin, H., Yuan, Q., Fan, F., Hu, Y., Wang, J., Wei, W., Li, Y., & Wu, J. (2019). Microbial mechanisms in the reduction of CH₄ emission from double rice cropping system amended by biochar: A four-year study. *Soil Biology and Biochemistry*, 135, 251-263.
- Wenlong, G., Hao, Y., Shenggong, L., & Liang, K. (2017). Responses of soil CO₂, CH₄ and N₂O fluxes to N, P, and acid additions in mixed forest in subtropical China. *Journal of Resources and Ecology*, 8(2), 154-164.
- Weslien, P., Kasimir Klemetsson, A., Börjesson, G., & Klemetsson, L. (2009). Strong pH influence on N₂O and CH₄ fluxes from forested organic soils. *European Journal of Soil Science*, 60, 311-320.
- Worden, J. R., Bloom, A. A., Pandey, S., Jiang, Z., Worden, H. M., Walker, T. W., Houweling, S., & Röckmann, T. (2017). Reduced biomass burning emissions reconcile conflicting estimates of the post-2006 atmospheric methane budget. *Nature Communications*, 8(1), 2227.
- Xavier, C. V., Moitinho, M. R., Teixeira, D. D. B., de Araújo Santos, G. A., de Andrade Barbosa, M., Milori, D. M. B. P., Rigobelo, E., Cora, J. E., & La Scala Junior, N. (2015). Crop rotation and succession in a no-tillage system: Implications for CO₂ emission and soil attributes. *Journal of Environmental Management*, 45, 8-15.
- Valentine, D. W., Holland, E. A., & Schimel, D. S. (1994). Ecosystem and physiological controls over methane production in northern wetlands. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 99(D1), 1563-1571.
- Valentini, R. (2003). EUROFLUX: An Integrated Network for Studying the Long-Term Responses of Biospheric Exchanges of Carbon, Water, and Energy of European Forests. In: Valentini, R. (eds) Fluxes of Carbon, Water and Energy of European Forests. Ecological Studies, vol 163. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Verhoeven, J. T. A. (2014). Wetlands in Europe: perspectives for restoration of a lost paradise. *Ecological Engineering*, 66, 6–9.
- Voss, M., Bange, H. W., Dippner, J. W., Middelburg, J. J., Montoya, J. P., & Ward, B. (2013). The marine nitrogen cycle: recent discoveries, uncertainties and the potential relevance of climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1621), 20130121.
- Yang, X. & Lu, X. (2014). Drastic change in China's lakes and reservoirs over the past decades. *Scientific Reports*, 4, 6041.
- Yerli, S.V., Altındağ, S., Yiğit, B.A. & Canbolat, A.F. (2003). Seyfe Gölü'nün trofik durumunun belirlenmesi. *Türk Sucul Yaşam Dergisi*, 2, 2.

- Yılmaz, N., Özyiğit, İ.İ., Demir, H.H., Yalçın, İ.E. (2021). Assessment on phytoplankton composition and heavy metal pollution in a drinking water resource: Lake Terkos (Istanbul, Turkey). *Desalination and Water Treatment*, 225, 265-274.
- Yim, M. H., Joo, S. J., & Nakane, K. (2002). Comparison of field methods for measuring soil respiration: a static alkali absorption method and two dynamic closed chamber methods. *Forest Ecology and Management*, 170(1), 189-197.
- Yu, L., Huang, Y., Zhang, W., Li, T., & Sun, W. (2017). Methane uptake in global forest and grassland soils from 1981 to 2010. *Science of The Total Environment*, 607–608, 1163–1172.
- Zhang, A., Cui, L., Pan, G., Li, L., Hussain, Q., Zhang, X., Zheng, J., & Crowley, D. (2010). Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 139, 469-475.
- Zhang, L., Tian, H., Shi, H., Pan, S., Chang, J., Dangal, S. R. S., Qin, X., Wang, S., Tubiello, F. N., Canadell, J. G., & Jackson, R. B. (2022). A 130-year global inventory of methane emissions from livestock: Trends, patterns, and drivers. *Global Change Biology*, 28, 5142-5158.