

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOPRAK TUZLULUĞUNUN AMONYAK EMİSYONU ÜZERİNE ETKİSİ

Vasan ALMARIE

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME BÖLÜMÜ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2024**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	i
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
1.GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	5
3.1. Materyal.....	5
3.1.1. Deneme materyali (Toprak ve Biogaz Atığı)	5
3.1.2. Toprak-denitrifikasyon inkübasyon denemesinin kurulum yeri ve tarihi.....	6
3.1.3. Robotik sürekli akım toprak-denitrifikasyon inkübasyon sistemi	6
3.1.4. Sera gazlarının ölçümü	8
3.2. Yöntem	8
3.2.1. Toprak-denitrifikasyon inkübasyon denemesinin kurulumu	8
3.2.2. Çalışmada yapılan analizler	9
3.2.2.1. Nitrat analizi.....	9
3.2.2.2. Amonyum analizi	10
3.2.2.3 Deneme sonuçlarının değerlendirilmesi	10
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	11
4.2. Tartışma	24
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	26
5.1. Sonuçlar	26
5.2. Öneriler	26
KAYNAKLAR	27

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TOPRAK TUZLULUĞUNUN AMONYAK EMİSYONU ÜZERİNE ETKİSİ

Vasan ALMARIE

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ŞENBAYRAM

YIL: 2024, Sayfa: 36

Tarım alanlarında kullanılan azotlu gübreler, tarımsal kaynaklı amonyak emisyonlarının (NH_3) ana kaynağını oluşturmaktadır. Bu emisyonlar, sadece verim kaybına neden olmakla kalmaz, aynı zamanda diğer sera gazlarının dolaylı emisyonlarına da yol açar. Azotlu gübrelerin kullanılması neticesinde ortaya çıkan NH_3 emisyonları, toprak yüzeyinden buharlaşma yoluyla gerçekleşir ve bu, atmosfer ile toprak yüzeyi arasındaki konsantrasyon gradyanı ve NH_3 taşıma direnci tarafından kontrol edilir. Toprak Ph, nem ve nitrifikasyon hızı değerleri, amonyak buharlaşma hızını kontrol eden ana faktörlerdir. Bu bağlamda, gübre ve toprak tipi etkileşimi, emisyon hızlarını kontrol etmede önemli bir rol oynayabilir. Çalışmamızda, iki farklı toprak tipi tuzsuz toprak (1.15 dS m^{-1}) ve tuzlu toprak (35.80 dS m^{-1}) ile üç farklı gübre tipi (amonyum sülfat, üre ve biyogaz atığı) karşılaştırıldı ve NH_3 kayıpları, 32 gün boyunca robotik sürekli akış inkübasyon sisteminde ölçüldü. İnkübasyon çemberlerine yerleştirilen toprak numunelerinin nemi %75 su tutma kapasitesine getirildikten sonra çemberler hava geçirimsiz olacak şekilde kapatılmıştır. Denemede her iki toprak tipine azotlu gübre yapılmayan (kontrol), 15 kg N da^{-1} üre, amonyum sülfat veya biyogaz uygulaması yapılmıştır. Her iki toprak tipinde de azotlu gübre uygulamaları NH_3 emisyonlarına neden olmuştur. Toprak tipleri kıyaslandığında özellikle tuzlu topraklarda amonyum sülfat ve biyogaz atığı uygulamaları, tuzsuz topraklara oranla daha yüksek NH_3 emisyonuna neden olmuştur. Tuzluluğun toprakta nitrat oluşum süreci olan nitrifikasyon sürecini önemli oranda etkilediği bilinmektedir. Tamamlanan bu çalışmada toprak tuzluluğu NH_3 emisyonu ilişkisinin özellikle uygulanan gübre formuna bağlı olduğu anlaşılmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Toprak tuzluluğu, azotlu gübreleme, nitrifikasyon, amonyak emisyonu

ABSTRACT

MSc Thesis

EFFECT OF SOIL SALINITY ON AMMONIA EMISSION

Vasan ALMARIE

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science and Plant Nutrition**

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet ŞENBAYRAM

Year: 2024, Page: 36

The use of fertilizers in agriculture is identified as a significant source of ammonia emissions (NH_3). These emissions not only lead to yield loss but also contribute to the indirect emissions of other greenhouse gases. NH_3 emissions from the use of nitrogen fertilizers occur through volatilization from the soil surface, controlled by the concentration gradient and resistance to NH_3 transport between the atmosphere and soil surface. Soil pH, moisture, and the state of nitrification are key factors that control the rate of volatilization. In this context, the interaction between fertilizer and soil type may play a crucial role in controlling emission rates. In our study, two different soil types, non-saline soil (1.15 dS m^{-1}) and saline soil (35.80 dS m^{-1}), were compared along with three different fertilizer types (ammonium sulfate, urea, and biogas waste). NH_3 losses were measured over 32 days in a robotic continuous flow incubation system. The soil samples placed in incubation chambers were sealed airtight after adjusting their moisture content to 75% of water-holding capacity. In the experiment, nitrogen fertilizer was not applied to one set of soil samples (control), while 15 kg N da^{-1} of urea, ammonium sulfate, and biogas were applied to the others. Nitrogen fertilizer applications in both soil types resulted in NH_3 emissions. When comparing soil types, particularly in saline soils, applications of ammonium sulfate and biogas waste led to higher NH_3 emissions compared to non-saline soils. The salinity of the soil is known to significantly influence the nitrification process, which is the formation of nitrate in the soil. This study concludes that the relationship between soil salinity and NH_3 emissions is particularly dependent on the applied fertilizer form.

KEYWORDS: Soil Salinity, Nitrogen Fertilization, Nitrification, Ammonia Emissions

TEŞEKKÜR

Lisans ve Lisansüstü eğitimim boyunca benden bilgi birikimini ve her türlü desteğini esirgemeyen, olumlu tavrı ve vizyonu ile akademik anlamda gelişimime katkı sağlayan beraber çalışmaktan ve öğrencisi olmaktan gurur duyduğum değerli danışman hocam Prof Dr. Mehmet ŞENBAYRAM' a sonsuz teşekkür ederim. Yönlendirmeleri ile mesleki gelişimime katkı sağlayan ilgi ve desteklerinden dolayı kıymetli hocalarım Prof. Dr. Mehmet Ali Çullu ve Prof. Dr. Güzel Yılmaz'a içtenlikle teşekkür ederim. Laboratuvar ve arazi çalışmalarını bana sevdiren, bilgi ve tecrübesinden her zaman yararlandığım beraber çalıştığımız süre boyunca bana destek olan değerli çalışma arkadaşım Dr. Emrah RAMAZANOĞLU' a teşekkür ederim. Üniversite hayatım boyunca her türlü fedakârlığı yapan desteklerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olduğunu hissettiren kıymetli arkadaşım Yüksek Ziraat Mühendisi Rahime Altıntaş' a ve ailesi teşekkür ederim. Bu süreçte her daim yanımda olan ailemin bana sağladığı sabır, güven ve sevgiden dolayı en içten teşekkürlerimi sunuyorum.



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3.2. Robotik toprak-denitrifikasyon inkübasyon sistemi.....	7
Şekil 3.2. Lazer tabanlı fotoakustik spektroskopisi	8
Şekil 4.1. İnkübasyon denemesi süresince zamansal olarak tuzsuz ve tuzlu topraklarda ölçülen amonyum (NH_4^+) konsantrasyonları (mg N kg^{-1} toprak $^{-1}$) Kontrol (azotlu gübre uygulanmayan); Üre, Amonyum sülfat ve Biyogaz atığı ($n = 3$).	12
Şekil 4.2. İnkübasyon denemesi süresi boyunca zamansal olarak tuzsuz ve tuzlu topraklarda ölçülen Nitrat (NO_3) konsantrasyonları (mg N kg^{-1} toprak $^{-1}$) Kontrol (azotlu gübre uygulanmayan); Üre, Amonyum sülfat (AS) ve Biyogaz atığı (BGA) ($n = 3$).	15
Şekil 4.3. İnkübasyon denemesi boyunca Kontrol (gübre uygulaması olmayan), Üre, Amonyum-sülfat (AS) ve Biyogaz atığı (BGA) uygulamalarının tuzlu ve tuzsuz topraklarda meydana gelen günlük NH_3 salınımı ($n = 3$). Bazı durumlarda hata çubukları sembollerden daha küçüktür	18
Şekil 4.4. İnkübasyon denemesi boyunca Kontrol (gübre uygulaması olmayan), Üre, Amonyum-sülfat (AS) ve Biyogaz atığı (BGA) uygulamalarının tuzlu ve tuzsuz topraklarda meydana gelen kümülatif NH_3 salınımı ($n = 3$). Bazı durumlarda hata çubukları sembollerden daha küçüktür	20
Şekil 4.5. İnkübasyon denemesi boyunca Kontrol (gübre uygulaması olmayan), Üre, Amonyum-sülfat (AS) ve Biyogaz atığı (BGA) uygulamalarının tuzlu ve tuzsuz topraklarda meydana gelen kümülatif NH_3 salınımı ($n = 3$). Bazı durumlarda hata çubukları sembollerden daha küçüktür	21
Şekil 4.6. İnkübasyon denemesi boyunca ölçülen parametrelere ait heat map kolerasyon katsayıları. 23	

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 1.1. Tuzlu toprakların sınıflandırılması (Sparks, 2003)	1
Çizelge 3.1. Deneme topraklarına ait bazı kimyasal özellikler	5
Çizelge 3.2. Denemede kullanılan biyogaz atığına ait bazı kimyasal özellikler	5
Çizelge 3.3. Robotik sürekli akım toprak-denitrifikasyon inkübasyon denemesinde kullanılan uygulamalar ve bu uygulamada yer alan azot kaynağı ile miktarları	7
Çizelge 4.1. Farklı formdaki azot kaynaklı gübre uygulamalarına bağlı olarak topraktaki amonyum konsantrasyonunun zamansal değişimi [mg N kg^{-1} toprak $^{-1}$].....	13
Çizelge 4.2. Farklı formdaki azot kaynaklı gübre uygulamalarına bağlı olarak topraktaki nitrat konsantrasyonunun zamansal değişimi [mg N kg^{-1} toprak $^{-1}$].....	17
Çizelge 4.3. Farklı formdaki azot kaynaklı gübre uygulamalarına bağlı olarak meydana gelen NH_3 emisyonlarının zamansal değişimi [kg N ha^{-1}].....	19

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AS	Amonyum Sülfat
BGA	Biyogaz Atığı
C	Karbon
CH ₄	Metan
CO ₂	Karbondioksit
da	Dekar
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü
g	Gram
ha	Hektar
IPPC	Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Direktif
kg	Kilogram
L	Litre
N	Azot
N ₂	Dinitrojen gazı
N ₂ O	Nitroz Oksit
NH ₃	Amonyak
NH ₄	Amonyum
NO ₃	Nitrat
NRA	Nitrat Redüktaz Aktivitesi
Pg	Pikogram
TOK	Toprak Organik Karbonu
TOM	Toprak organik maddesi
NO	Nitrik oksit

1. GİRİŞ

Hızla artan dünya nüfusu, 2050 yılına kadar yaklaşık olarak 9 milyarın üzerine çıkabileceği öngörülmektedir. Artan nüfusa yeterli gıda sağlamak için, dünyada gıda üretiminin yaklaşık %57 oranında artırılması gerekmektedir. Verimi kısıtlayan parametrelerin (toprak tuzluluğu gibi) üretim üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak, artan ihtiyacın bir kısmını karşılayabilir (Wise, 2013).

Özellikle kurak ve yarı kurak iklimlerde etkili olan toprak tuzluluğu, küresel bir sorun olarak ortaya çıkmıştır (Sahab ve ark., 2021). Bu sorun, dünya topraklarının yaklaşık %15'ini etkilemektedir (Wild, 2003). Toprak tuzluluğunun başlıca nedenleri olarak: kayaçların ayrışması, aşırı sulama ve kimyasal gübre kullanımı, kıyı bölgelerindeki tuzun yer değiştirmesi, rüzgar erozyonu ve insan kaynaklı diğer etkiler, tanımlanabilir. Tuzlu topraklar, değişken sodyum yüzdesi (ESP), elektrik iletkenliği (EC) ve pH değerlerine göre sınıflandırılır (Çizelge, 1.1).

Çizelge 1.1. Tuzlu toprakların sınıflandırılması (Sparks, 2003)

Toprak Tipi	pH	EC (dS m ⁻¹)	ESP
Tuzlu	<8.5	>4	<15
Alkali	>8.5	<4	>15
Tuzlu-Alkali	≥8.5	>4	>15

Tuzluluk, toprak kalitesi bileşenleri olan toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini olumsuz etkilemekle birlikte, toprakta meydana gelen azot döngüsü ve sera gazı salınımına neden olan mikrobiyal mekanizmaları da olumsuz etkilemektedir (Rajput ve ark., 2015).

Azot, tarımsal üretimde bitkilerin gelişimi için mutlak gerekli olan makro bir bitki besin elementi olmasının yanı sıra toprakların da önemli bir kalite parametresi olarak kabul edilmektedir (Zhang ve ark., 2011). Bu element, büyüme, fotosentez ve protein sentezi gibi temel süreçlerin önemli bir adımını oluşturur ve toprağa uygulandığı andan itibaren çeşitli dönüşümlere uğrar. (Chen ve ark., 2013). Bu

dönüşümler nitrifikasyon, denitrifikasyon, immobilizasyon ve amonyak (NH_3) kaybı olarak tanımlanmaktadır. Ancak, bu dönüşüm olayları ortamda tuzun varlığı ile çevresel tehditlere dönüşebilir.

Toprak tuzluluğu, üre hidrolizini ve nitrifikasyonun ikinci aşaması olan nitrit oluşumunu da önemli ölçüde baskılayarak toprak nitrat içeriğinin de düşük seviyelerde olmasına neden olduğundan topraklarda amonyum birikimi meydana gelmektedir (Akhtar ve ark., 2012). Tuzlu topraklarda biriken yüksek miktardaki amonyum, NH_3 emisyonları üzerine itici bir güç olabilir (Zhang ve ark., 2011).

NH_3 (amonyak), ince partikül madde ($\text{PM}_{2.5}$) oluşumu süreçlerine katılması nedeniyle önemli bir atmosferik kirletici olarak tanımlanmaktadır (Zhang ve ark., 2011). Tarım arazilerinden buharlaşma yoluyla gerçekleşen azot kaybı %1-50 gibi geniş bir aralıkta NH_3 olarak meydana gelmekte, bu durum ise NH_3 buharlaşmasının tarım arazilerinden kaynaklanan azot kaybının temel sebeplerinden biri olduğunu göstermektedir (Rochette ve ark., 2013). Global ölçekte, tarımsal üretim yapılan alanlardan atmosfere 27-38 milyon ton NH_3 salınmaktadır. Yüksek orandaki NH_3 gazı, sadece tarımsal üretim yapılan bölgelerde azot kayıpları olarak kalmamakta, aynı zamanda atmosferde ince partikül madde ($\text{PM}_{2.5}$) oluşum sürecine dahil olarak önemli bir atmosferik kirletici rol üstlenmekte ve doğada sis oluşumunun ana sebeplerinden biri olarak kabul edilmektedir (Yang ve ark., 2011). Topraklarda NH_3 buharlaşma oranları, özellikle tuzluluk problemi olan topraklarda daha yüksek seviyelere ulaşabilmektedir. Bu bağlamda, toprak tuzluluğu ile topraktan NH_3 buharlaşması arasında güçlü bir pozitif korelasyon gözlemlenmektedir (Zhenghu ve Honglang, 2000).

Bu çalışma, yukarıda açıklanan toprak tuzluluğu ve farklı formlarda uygulanan azotlu gübre interaksiyonunun; i) tuzlu toprak koşullarındaki amonyum ve nitrat konsantrasyonları ve ii) NH_3 emisyonu üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla yürütülmüştür.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Birçok araştırmacı tarafından toprak tuzluluğunun azot döngüsündeki mikrobiyal süreçlerden biri olan nitrifikasyonu önemli oranda baskıladığını, bu baskı neticesinde topraklarda yüksek miktarda amonyum birikiminin meydana geldiğini bildirmişlerdir (Bernhard ve ark., 2007; Zheng ve ark., 2016). Toprakta biriken amonyumun, tuzluluk etkisi ile amonyak emisyonları şeklinde atmosfere salınmaktadır. Duan ve ark. (2006), farklı tuz konsantrasyonlarında amonyum bazlı gübre kullanarak yürüttükleri bir çalışmada toprak tuz içeriğinin artması ile topraklarda meydana gelen NH_3 emisyonlarında da artış gözlemlediklerini, dolayısı ile tuzluluk ve NH_3 emisyonları arasında pozitif bir korelasyon olduğunu bildirmişlerdir.

Amonyum bazlı gübrelerin tuzluluk problemi olan topraklarda daha fazla emisyonlarına neden olduğunu, tuzlu toprak koşullarında amonyum bazlı gübre yerine üre gübresinin kullanımı ile meydana gelebilecek amonyak emisyonlarını tuzsuz, 1.0 dS m^{-1} ve 5.0 dS m^{-1} gibi farklı tuz konsantrasyonuna sahip topraklarda Li ve ark. (2020), yürüttükleri bir çalışmada, tuzsuz toprak tipi ile kıyaslandığında farklı tuz içeriğine sahip toprakların daha fazla amonyak emisyonuna neden olduğunu rapor etmişlerdir. Çalışmada kullanılan diğer azotlu gübre olan üre ise, tuzlu topraklarda daha düşük oranda NH_3 emisyonlarına neden olduğunu rapor etmişlerdir. Organik bir bileşik ürenin toprakta üreaz enziminin aktivitesi ile $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 'ye ayrışması biraz zaman almaktadır (Singh ve Bajwa, 1986; Zheng ve ark., 2016). Toprak içerisindeki tuzun şiddetine göre ayrışma süresi hem uzayabilir hem de hidroliz olayı engellenebilir (Kumar ve ark., 2007).

NH_3 emisyon oranlarının, tuzlu topraklara uygulanan bazı toprak düzenleyicilerin tuz interaksiyonu ile emisyon oranlarının gösterdiği değişimi inceleyen Zhu ve ark. (2015), toprak düzenleyici olarak kullandıkları biyokömür ve jips uygulamalarında farklı sonuçlar elde ettiklerini rapor etmişlerdir. Çalışma, Çin'in kuzeydoğusunda yer alan beş farklı tuzluluk problemi olan araziye uyguladıkları üre, monoamonyum fosfat ve tavuk gübrelerinin neden olduğu amonyak emisyonlarını araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, tuz biyokömürün NH_3/NH_4 adsorpsiyon kapasitesini sınırladığı için biyokömür uygulaması yapılan tuzlu topraklarda NH_3 emisyonlarında artış belirlediklerini ve biyokömürün aynı zamanda inhibe olan

nitritifikasyon sürecini daha da baskıladığını rapor etmişlerdir. Biyokömür uygulamasının aksine, jips uygulaması tuzlu topraklarda amonyak emisyonlarını azalttığını bu nedenle düşük oranlarda jips uygulamasının tuzluluk problemi olan topraklarda amonyak emisyonlarını azaltabileceğini rapor etmişlerdir.

Tuzluluk problemi olan topraklara uygulanan biyokömür gibi toprak düzenleyiciler düşük oranlarda uygulandıklarında topraklarda meydana gelen NH_3 emisyon oranlarını düşürebilmektedir. Sun ve ark. (2008), biyokömürün farklı (%0.5, %1, %2 ve %4) oranlarda uyguladıkları tuzlu topraklarda amonyak emisyonlarına biyokömürün olası etkilerini araştırmışlardır. %0.5 ve %1 gibi düşük oranlarda biyokömür uygulaması ise kontrol grubuna göre %11.4 ve %13.2 kat daha düşük oranlarda amonyak emisyonlarına neden olduğunu bildirmişlerdir. %2 ve %4 biyokömür uygulaması kontrol grubu ile kıyaslandığında sırası ile %25.6 - %53.6 oranında daha fazla amonyak emisyonlarını meydana getirmiştir. Biyokömürün artan oranlarda uygulandığında daha fazla amonyak emisyonlarına neden olmasının sebebini ise araştırmacıların denemede kullanılan biyokömürün toprak pH' da bir birimlik artış meydana getirmesinden kaynaklı olabileceğini rapor etmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Deneme materyali (Toprak ve Biogaz Atığı)

Denemede tuzlu ve tuzsuz olmak üzere iki zıt toprak tipi kullanılmıştır. Tuzlu topraklar Harran Ovasında yer alan Bozyazı köyünden (36° 51' 40.16" K - 39° 05' 05.80" D), tuzsuz toprak ise Tahılalan köyündeki (36° 51' 17.26" K - 38° 57' 55.77" D) tarım arazilerinden alınmıştır.

Tarım arazilerinin 0-20 cm derinliğinden alınan toprak örnekleri laboratuvar ortamında 2 mm elekten geçirilerek homojenize edilmiştir. Homojen hale getirilen toprak örnekleri inkübasyon denemesinin kurulacağı güne kadar 20 °C' de saklanmıştır. İnkübasyon denemesinde kullanılan topraklara ait bazı kimyasal özellikler çizelge 3.1'te verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneme topraklarına ait bazı kimyasal özellikler

Toprak Tipi	pH	EC	O.C	Toplam N	NO ₃ ⁻ - N	NH ₄ ⁺ - N	Kum	Silt	Kil
		dS m ⁻¹	%	%	(mg N kg toprak ⁻¹)		%	%	%
Tuzlu	7.2	35.80	0,68	0,13	58,31	2,86	20.52	67.06	12.42
Tuzsuz	7.5	1.15	0,87	0,10	10,71	3,03	20,50	29,53	49.97

Biogaz atığı Şanlıurfa ilinde faaliyet gösteren biogaz tesisinden alınmıştır. Biogaz reaktörünün çıkış çeşmesinden alınan biogaz atığına ait bazı kimyasal özellikler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Denemede kullanılan biogaz atığına ait bazı kimyasal özellikler

pH	EC	Kuru Madde	Organik Karbon	Toplam N
	(dS m ⁻¹)		%	
8,2	29,05	13,59	26,13	6,56

3.1.2. Toprak-Denitrifikasyon inkübasyon Denemesinin Kurulum Yeri ve Tarihi

Harran Üniversitesi, Ziraat fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümünde yer alan Akıllı Tarım Toprak/Bitki Analiz Laboratuvarında robotik sürekli akım toprak-denitrifikasyon inkübasyon sisteminde gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar koşullarında yürütülen çalışma, 27.04.2022 – 17.06.2022 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir.

3.1.3. Robotik Sürekli Akım Toprak-Denitrifikasyon İnkübasyon Sistemi

Toprak-Denitrifikasyon inkübasyonu Harran Üniversitesi, Ziraat fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme bünyesinde bulunan akıllı tarım toprak laboratuvarında robotik sürekli akım toprak-denitrifikasyon sistemi kullanılarak yürütülmüştür. İnkübasyon denemesinde kullanılan çemberler, çapı 140 mm ve yükseklikleri 200 mm olan şeffaf pleksiglaslardan oluşmaktadır. Toprak-Denitrifikasyon denemesi 4 uygulama ve 2 toprak tipinden oluşmaktadır. Uygulamalar sırasıyla; I. Kontrol (Azotlu gübre uygulaması yapılmayan), II. Üre, III. Amonyum Sülfat ve IV. Biogaz atığı olup, toprak tipi ise tuzlu ve tuzsuz topraklardan oluşmaktadır. Denemede gaz emisyonları için 3 tekerrür ve toprak örnekleme için 3 tekerrürlü olmak üzere her uygulama için 6 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Denemede toplam 4 uygulama x 2 toprak tipi x 3 tekerrür olmak üzere toplamda 24 adet inkübasyon çemberi kullanılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Robotik toprak-denitrifikasyon inkübasyon sistemi

Çizelge 3.3. Robotik sürekli akım toprak-denitrifikasyon inkübasyon denemesinde kullanılan uygulamalar ve bu uygulamada yer alan azot kaynağı ile miktarları

Uygulama	Toprak Tipi	Azot Formu	Azot Dozu
1	Tuzlu	Yok	-
2	Tuzlu	Üre	502 mg gübre kg toprak ⁻¹ (15 kg N da ⁻¹)
3	Tuzlu	Amonyum Sülfat	1103 mg gübre kg toprak ⁻¹ (15 kg N da ⁻¹)
4	Tuzlu	Biyogaz atığı	26,5 ml gübre kg toprak ⁻¹ (15 kg N da ⁻¹)
5	Tuzsuz	Yok	-
6	Tuzsuz	Üre	502 mg gübre kg toprak ⁻¹ (15 kg N da ⁻¹)
7	Tuzsuz	Amonyum Sülfat	1103 mg gübre kg toprak ⁻¹ (15 kg N da ⁻¹)
8	Tuzsuz	Biyogaz atığı	26,5 ml gübre kg toprak ⁻¹ (15 kg N da ⁻¹)

3.1.4. Sera Gazlarının Ölçümü

İnkübasyon sisteminde ölçümü yapılan NH_3 gazı lazer tabanlı fotoakustik spektroskopisi Gasera one pulse (Şekil 3.3) cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Lazer tabanlı fotoakustik spektroskopisi, moleküllerin dönme ve titreşim durumlarını kızılötesi ışık darbeleriyle uyarak akustik bir dalga oluşturan kinetik enerji darbesine dönüştürür. Fotoakustik etkinin kinetik enerjiye dönüşmesinden dolayı absorpsiyon algılama yönteminin doğası gereği arka planda kayma oluşumu neredeyse sıfıra inmektedir. Bu durum algılanması gereken molekülün ortamda olmadığı koşullarda sinyalin algılanmamasına ve yüksek hassasiyetle emisyonların ölçülmesine imkan sağlamaktadır (Karlsson ve Sinisalo, 2017).



Şekil 3.2. Lazer tabanlı fotoakustik spektroskopisi

3.2. Yöntem

3.2.1. Toprak-Denitrifikasyon İnkübasyon Denemesinin Kurulumu

İnkübasyon denemesi kurulumunda önceden deneme materyali olarak kullanılacak olan tuzlu ve tuzsuz toprak örnekleri inkübasyon çemberlerine aktarıldıktan sonra toprak nemi %75 su tutma kapasitesine yağmur simülasyonu kullanılarak getirilmiştir. (Senbayram ve ark., 2018). %75 nem seviyesine ulaşan toprak örneklerine Çizelge 3.3 ' te belirtilen form ve dozda gübreler toprak yüzeyinin tamamına yayılacak şekilde uygulanmıştır. Gübre uygulamalarından sonra inkübasyon

çemberleri dış ortam havasından izole edilmiş şekilde tamamen kapatılmıştır. İnkübasyon çemberlerine kontrollü şekilde kompresör (normal hava) yardımı ile her bir çemberin içerisine 25 ml dk⁻¹ hava girişi olacak şekilde ayarlanmıştır. İnkübasyon çemberinin içerisinden çıkan hava iki adet çok pozisyonlu VICI-VALCO (Houston, Amerika) seçici valf kullanılarak lazer tabanlı fotoakustik spektroskopisine (Gasera One Pulse) aktarılmıştır.

3.2.2. Çalışmada Yapılan Analizler

Denemede ölçümü yapılan NH₃ emisyonları, hava geçirimsiz çember içerisinden iki adet çok pozisyonlu VICI-VALCO (Houston, Amerika) seçici valf yardımı ile lazer tabanlı fotoakustik spektroskopisine otomatik olarak yönlendirilmiştir. Her bir çember için gaz akıları NH₃ (kg N gün⁻¹ hektar⁻¹) olarak hesaplanmıştır.

İnkübasyon denemesi süresince toprak-denitrifikasyon gaz akılarının ölçüldüğü denemeye ek olarak deneme topraklarında zamansal olarak meydana gelen değişimleri gözlemlemek açısından toprak örnekleme yapılabilmesine imkan tanıyan ek bir deneme daha kurulmuştur. Kurulan ek denemeden deneme başlangıç tarihinden itibaren sırasıyla denemenin 7. 14. ve 30. günlerden bazı analizler gerçekleştirilmiştir.

3.2.2.1. Nitrat Analizi

Toprak örneklerini (1:4) oranında deiyonize su kullanılarak 30 dk çalkalayıcıya bırakılmıştır. Çalkalama süresi sonunda toprak süzükleri Whatman filtre kağıtları kullanılarak süzükler elde edilmiştir. Süzüklerden 1 ml alınarak üzerlerine 0.5 ml TRI çözültisi eklenmiş ve sıcak yüzeyde süzüklerin buharlaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Soğuyan numuneler üzerine 1 ml konsantre H₂SO₄ eklenerek kuruyan tortunun çözünmesi sağlanmış daha sonra 5 ml deiyonize su ve %40 'lık NaOH eklenmiştir. Oluşan renk konsantrasyonları 410 nm dalga boyundaki absorpsiyon değerlerine göre NO₃ konsantrasyonları hesaplanmıştır (Yang ve ark., 1998).

3.2.2.2. Amonyum Analizi

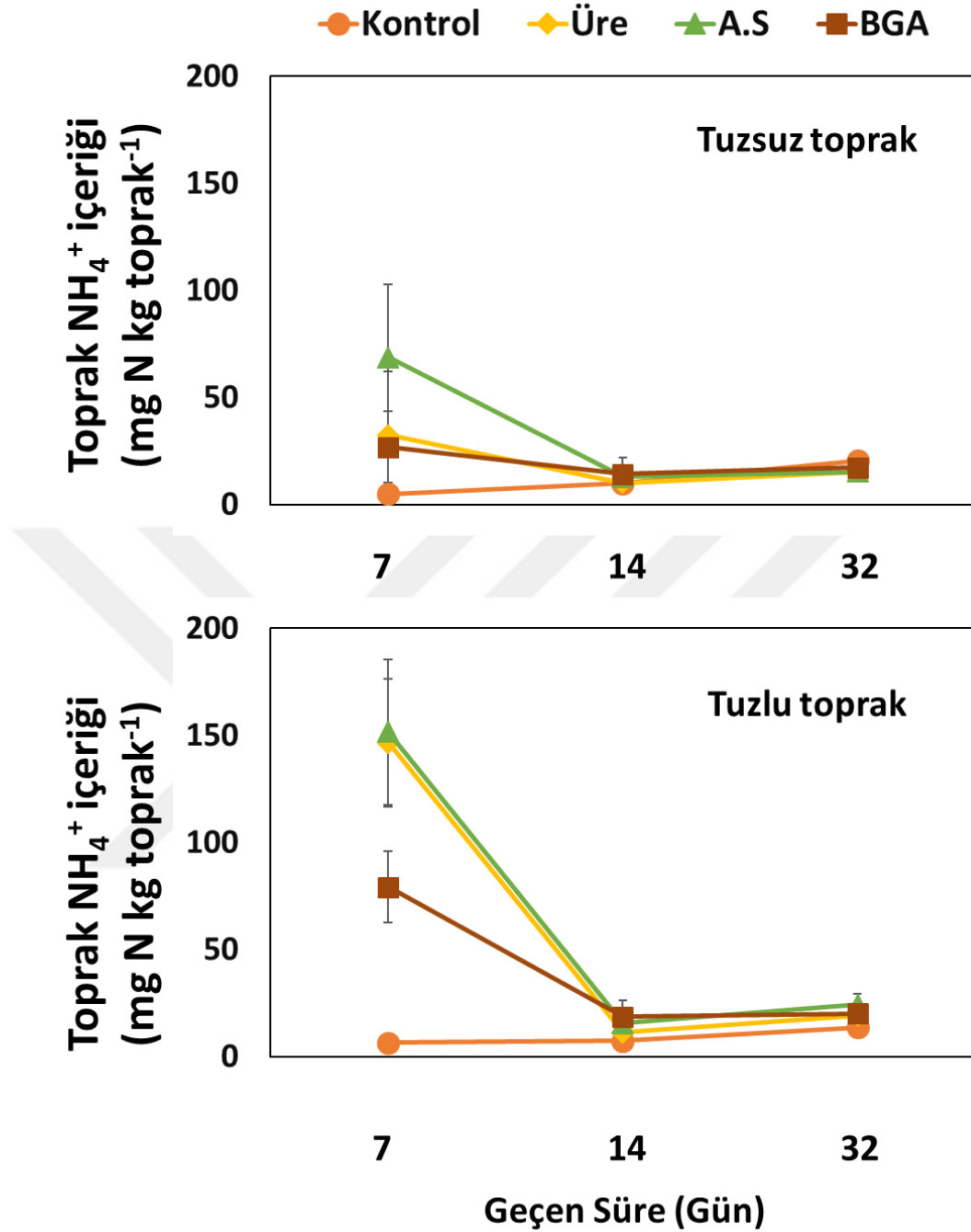
Toprak örneklerini (1:4) oranında 2M KCl ile 1 saat çalkalayıcıya bırakılmıştır. Çalkalama süresi sonunda toprak süzükleri Whatman filtre kağıtları kullanılarak süzükler elde edilmiştir. Süzüklerden 1 ml alınarak üzerlerine 5.5 ml buffer solüsyonu ve 4 ml salisilat ve nitroprusside solüsyonu eklenerek solüsyonlar homojen olarak karıştırıldı. Homojen karışan solüsyonların üzerine 2 ml sodyum hipoklorit eklenerek 15 dk süre ile 37 °C bekletildi. Oluşan renk 650 nm dalga boyunda absorbands değeri alınarak toprakların amonyum konsantrasyonları hesaplanmıştır. (Baethgen ve Alley, 1989).

3.2.2.3 Deneme Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çalışmada elde edilen NH_3 emisyonlarına ait veriler ve zamansal olarak deneme boyunca topraklarda ölçülen amonyum ile nitrat konsantrasyonlarına ait sonuçların değişiminin gösterilebilmesi için excel programı, verilerin ortalama ve standart hata oranları için SPSS v.14 istatistik programı kullanılmıştır. Gaz emisyon verilerinin tüm deneme boyunca elde edilen kümülatif veriler için ayrıca SPSS v.14 istatistik programında çoklu karşılaştırma testlerinden Duncan ($P=0.05$) analizi yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

İnkübasyon denemesi boyunca topraklara uygulanan farklı formlardaki azot kaynaklı gübrelerin topraklarda oluşturduğu amonyum konsantrasyonları oldukça farklıydı (Şekil 4.1). Tuzsuz toprak tipinde azotlu gübre uygulaması yapılmayan kontrol grubu ($4.97 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ toprak}^{-1}$) toprakları, ilk ölçüm döneminde (7. günde) toprak amonyum içeriği tuzlu topraktaki kontrol grubuna ($6.49 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ toprak}^{-1}$) kıyasla daha düşük seviyelerde olmuştur (Çizelge 4.1). Azotlu gübre uygulamalarının ise toprakta oluşturduğu amonyum konsantrasyonları genel olarak tuzlu toprak tipinde tüm deneme boyunca tuzsuz topraklardan daha yüksek seviyelerde ölçülmüştür.



Şekil 4.1 İnkübasyon denemesi süresince zamansal olarak tuzsuz ve tuzlu topraklarda ölçülen amonyum (NH_4^+) konsantrasyonları (mg N kg^{-1} toprak $^{-1}$) Kontrol (azotlu gübre uygulanmayan); Üre, Amonyum sülfat ve Biyogaz atığı ($n = 3$).

Tuzlu toprak tipinde ilk ölçüm (7. gün) döneminde AS ($151.56 \text{ mg N kg}^{-1}$ toprak $^{-1}$) uygulaması topraklarda en yüksek amonyum konsantrasyonu oluşturan uygulama olurken, bu uygulamayı sırası ile Üre ($146.62 \text{ mg N kg}^{-1}$ toprak $^{-1}$) ve BGA ($79.22 \text{ mg N kg}^{-1}$ toprak $^{-1}$) uygulamaları takip etmiştir (Çizelge 1). Tuzsuz toprak tipinde ilk

ölçüm (7. gün) döneminde AS (68.63 mg N kg⁻¹ toprak⁻¹) uygulaması topraklarda en yüksek amonyum konsantrasyonlarını meydana getiren uygulama olmuştur. Bu uygulamayı sırası ile Üre (32.36 mg N kg⁻¹ toprak⁻¹) ve BGA (26.70 mg N kg⁻¹ toprak⁻¹) takip etmiştir (Çizelge 1). Genel olarak ilk ölçüm döneminde (7. gün) uygulamaların toprakta meydana getirdiği amonyum konsantrasyonları tuzlu toprak tipinde AS uygulaması %55, Üre %78 ve BGA ise %66 oranında tuzsuz topraklara kıyasla daha fazla amonyum içeriğine sahipti. İlk ölçüm döneminde uygulamaların toprakta oluşturduğu amonyum konsantrasyonları istatistiksel ($P < 0.05$) olarak da önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Farklı formdaki azot kaynaklı gübre uygulamalarına bağlı olarak topraktaki amonyum konsantrasyonunun zamansal değişimi [mg N kg⁻¹ toprak⁻¹]

Toprak Tipi	Uygulamalar	7. Gün	14. Gün	32. Gün
Tuzsuz Toprak	Kontrol	4,97 ^B ± 0,32	9,88 ^A ± 1,21	20,53 ^A ± 6,43
	Üre	32,36 ^{AB} ± 12,12	10,15 ^A ± 0,33	15,36 ^A ± 2,60
	AS	68,63 ^A ± 23,15	12,79 ^A ± 4,02	15,36 ^A ± 0,59
	BGA	26,70 ^{AB} ± 2,20	14,23 ^A ± 3,48	17,18 ^A ± 2,80
Tuzlu Toprak	Kontrol	6,49 ^B ± 1,37	7,31 ^A ± 0,94	13,55 ^A ± 1,58
	Üre	146,62 ^A ± 29,89	11,15 ^A ± 1,85	19,12 ^A ± 3,64
	AS	151,56 ^A ± 34,07	15,42 ^A ± 5,13	24,28 ^A ± 4,90
	BGA	79,22 ^{AB} ± 16,73	18,52 ^A ± 7,72	19,96 ^A ± 3,69

Harfler çoklu karşılaştırma testi Duncan göre anlamlı farklılıkları ifade etmektedir ($P < 0.05$).

İkinci ölçüm (14. gün) döneminde tuzlu topraklarda ölçülen toprak amonyum içeriği kontrol grubu hariç, azotlu gübre uygulamaların tümü tuzsuz topraklara kıyasla ilk ölçüm dönemine benzer şekilde yüksek ölçülmüştür (Çizelge 4.1). Bu dönemde (14. gün) tuzlu toprak tipinde en yüksek amonyum konsantrasyonları BGA (18.52 mg N kg⁻¹ toprak⁻¹) uygulaması yapılan topraklarda ölçülmüştür. Bu uygulamayı sırası ile AS (15.42 mg N kg⁻¹ toprak⁻¹) ve Üre (11.15 mg N kg⁻¹ toprak⁻¹) uygulamaları takip etmiştir (Çizelge 4.1). Tuzsuz toprak tipinde ise ikinci (14. gün) ölçüm döneminde en yüksek amonyum konsantrasyonları BGA (14.23 mg N kg⁻¹ toprak⁻¹) uygulaması yapılan topraklarda ölçülürken, bu uygulamayı AS (12.79 mg N kg⁻¹ toprak⁻¹) ve Üre (10.15 mg N kg⁻¹ toprak⁻¹) uygulamaları takip etmiştir.

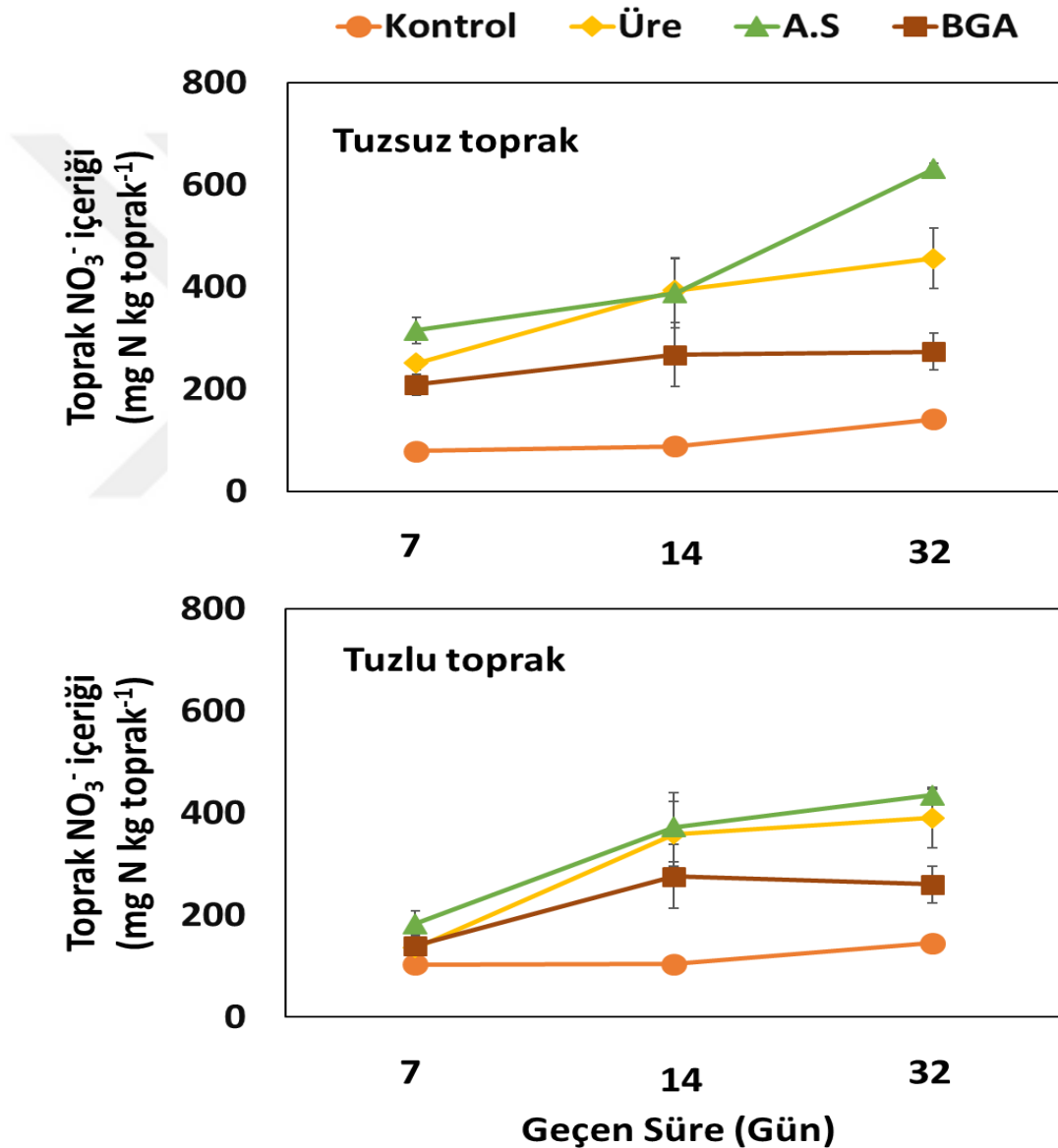
Genel olarak ikinci ölçüm döneminde tuzlu topraklarda ölçülen amonyum konsantrasyonları, tuzsuz topraklara kıyasla BGA uygulaması %23, AS %17 ve Üre

uygulaması ise %9 oranında daha fazla amonyum konsantrasyonları ölçülmüştür. Bu dönemde (14. gün) ölçülen toprak amonyum içerikleri tuzlu toprakların, tuzsuz topraklardan daha yüksek ölçülmesine rağmen her iki toprak tipinde de azotlu gübrelerin oluşturduğu amonyum konsantrasyonları istatistiksel ($P<0.05$) olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.1).

İnkübasyon denemesinin sonlandırıldığı dönem olan son ölçüm döneminde (32. gün) toprakların amonyum içerikleri ikinci dönemde (14. gün) ölçülen değerlere benzer olduğu görülmüştür (Çizelge 4.1). Bu dönemde (32. gün) tuzlu topraklarda azotlu gübre uygulamaları yapılan topraklarda en yüksek amonyum konsantrasyonu AS ($24.28 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ toprak}^{-1}$) uygulamasında belirlenirken, bu uygulamayı sırası ile BGA ($19.96 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ toprak}^{-1}$) ve Üre ($19.12 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ toprak}^{-1}$) uygulamaları takip etmiştir. Tuzsuz toprak tipinde inkübasyonun denemesinin sonlandırıldığı ve son ölçüm dönemi olan 32. günde toprak amonyum konsantrasyonu bakımından ilginç bir şekilde en yüksek konsantrasyon kontrol grubunda ($20.53 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ toprak}^{-1}$) ölçülürken, azotlu gübre uygulamaları ise kontrol grubu topraklarından daha düşük seviyelerde ölçülmüştür. Bu dönemde azotlu gübre uygulamalarının topraklarda oluşturduğu amonyum konsantrasyonları bakımından en yüksek konsantrasyon BGA ($17.18 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ toprak}^{-1}$) iken, bunu aynı oranlara sahip Üre ($15.36 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ toprak}^{-1}$) ve AS ($15.36 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ toprak}^{-1}$) uygulamaları takip etmiştir. Bu dönemde ölçülen toprak amonyum konsantrasyonları hem toprak tipinden hem de farklı formlardaki azotlu gübrelerin oluşturduğu amonyum konsantrasyonları istatistiksel ($P<0.05$) olarak önemli bulunmamıştır.

İnkübasyon denemesi boyunca topraklara uygulanan farklı formlardaki azot kaynaklı gübrelerin topraklarda oluşturduğu nitrat konsantrasyonları oldukça farklı olmuştur (Şekil 4.2). Özellikle tuzsuz toprak tipinde yapılan ölçümlerde, toprak nitrat içeriği deneme boyunca tuzlu topraklardaki nitrat konsantrasyonları ile karşılaştırıldığında belirgin bir şekilde daha yüksek oranlarda tespit edilmiştir (Çizelge 4.2). Deneme boyunca zamansal olarak incelenen toprak nitrat içeriği ilk ölçüm dönemi olan 7. günde azotlu gübre uygulamaları yapılan topraklarda en yüksek toprak nitrat içeriği AS uygulaması yapılan topraklarda ölçülmüştür. AS ($314.99 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ toprak}^{-1}$) uygulamasını sıra ile Üre ($251.20 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ toprak}^{-1}$) ve BGA ($209.19 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ toprak}^{-1}$) takip etmiştir. Aynı dönemde (7. gün) tuzlu toprak tipinde de en yüksek

toprak nitrat içeriğine AS ($182.63 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ toprak}^{-1}$) uygulaması yapılan topraklarda ölçülmüştür. Bu uygulamayı sıra ile BGA ($140.15 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ toprak}^{-1}$) ve Üre ($135.81 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ toprak}^{-1}$) takip etmiştir. İlk ölçüm döneminde genel olarak tuzsuz toprak tipine uygulanan azotlu gübrelerin topraklarda meydana getirdiği nitrat konsantrasyonları tuzlu toprak tipi ile kıyaslandığında AS %42, BGA %33 ve Üre %46 oranında daha fazla olmuştur. Ayrıca bu dönemde iki zıt toprak tipinde topraklarda oluşan nitrat konsantrasyonları istatistiksel ($P < 0.05$) olarak da önemli bulunmuştur (Çizelge 4.2).



Şekil 4.2. İnkübasyon denemesi süresi boyunca zamansal olarak tuzsuz ve tuzlu topraklarda ölçülen Nitrat (NO_3) konsantrasyonları ($\text{mg N kg}^{-1} \text{ toprak}^{-1}$) Kontrol (azotlu gübre uygulanmayan); Üre, Amonyum sülfat (AS) ve Biyogaz atığı (BGA) ($n = 3$).

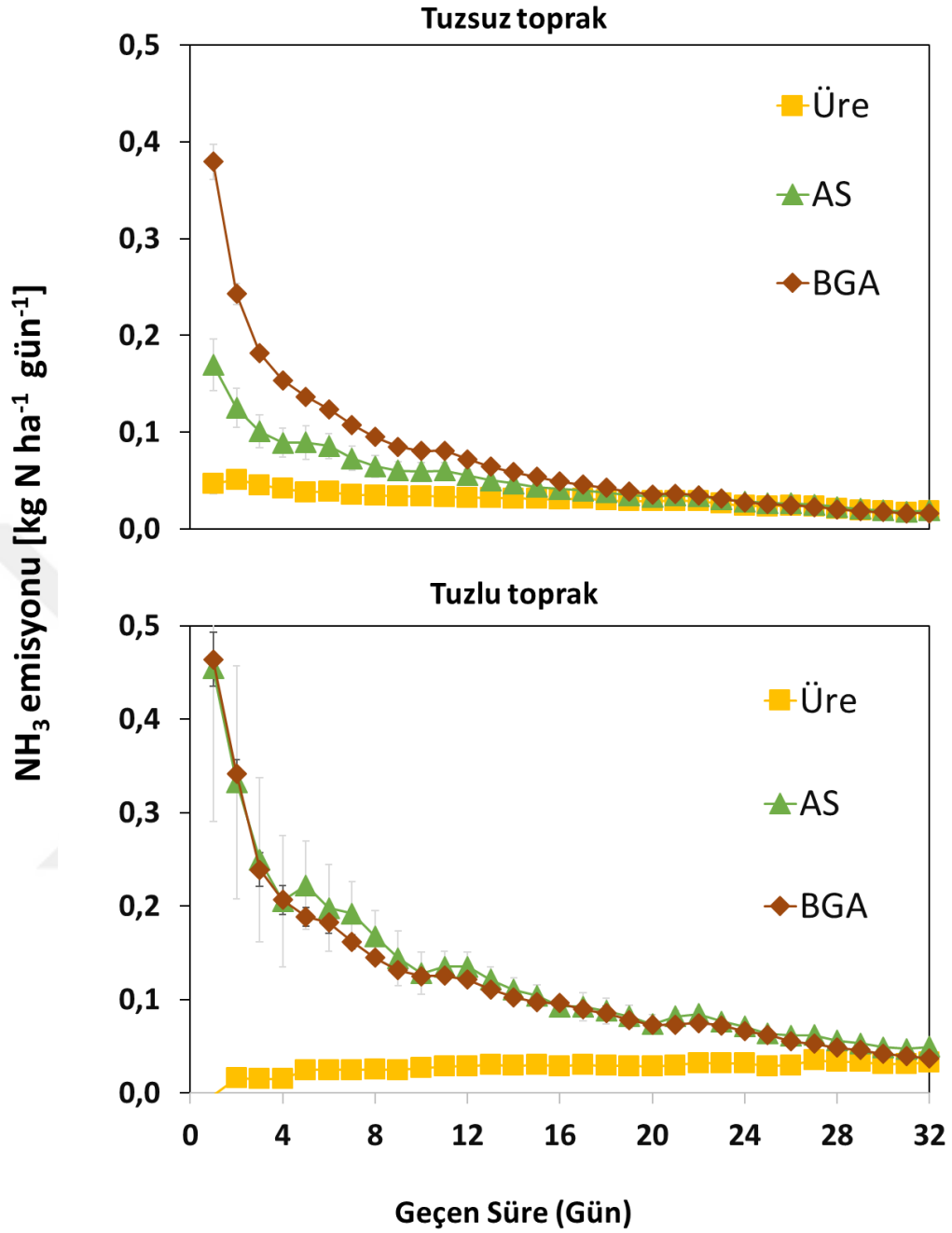
İkinci ölçüm (14. gün) döneminde toprak nitrat ölçüm değerlerine göre tuzsuz ve tuzlu topraklara uygulanan farklı formlardaki azot kaynaklı gübrelerin toprakta meydana getirdiği nitrat konsantrasyonları birbirlerine çok yakın değerlerde olmuştur. Bu dönemde (14. gün) tuzsuz topraklarda en yüksek toprak nitrat içeriği Üre (393.50 mg N kg⁻¹ toprak⁻¹) uygulamasında ölçülmüştür. Üre uygulamasını sırası ile AS (388.31 mg N kg⁻¹ toprak⁻¹) ve BGA (267.15 mg N kg⁻¹ toprak⁻¹) uygulamaları takip etmiştir (Çizelge 4.2). Bu dönemde (14. gün) tuzlu toprak tipinde en yüksek toprak nitrat içeriği AS (372.39 mg N kg⁻¹ toprak⁻¹) uygulamasında ölçülmüştür. Bu uygulamayı sırası ile Üre (358.59 mg N kg⁻¹ toprak⁻¹) ve BGA (275.42 mg N kg⁻¹ toprak⁻¹) atığı takip etmiştir. Bu dönem içerisinde ölçülen toprak nitrat içerikleri zıt iki toprak tipi için istatistiksel olarak (P<0.05) önemli bulunmuştur. İnkübasyon denemesinin sonlandırıldığı dönem olan son ölçüm döneminde (32. gün) ölçülen toprakların nitrat içerikleri ikinci döneme (14. gün) oranla oldukça yüksekti (Çizelge 4.2). Bu fark aynı zamanda istatistiksel olarak da önemli bulunmuştur. Tuzsuz toprak tipinde inkübasyon denemesi sonucunda (32. gün) azotlu gübre uygulaması yapılan topraklarda AS (631.60 mg N kg⁻¹ toprak⁻¹) uygulaması en yüksek nitrat içeriğine sahip uygulama olmuştur. Bu uygulamayı sıra ile Üre (455.91 mg N kg⁻¹ toprak⁻¹) ve BGA (273.15 mg N kg⁻¹ toprak⁻¹) takip etmiştir. Tuzlu toprak tipinde azotlu gübreleme sonucunda topraklarda oluşan nitrat konsantrasyonları tuzsuz topraklara kıyasla daha düşük olmuştur. İnkübasyon sonunda tuzlu topraklarda ölçülen toprak nitrat konsantrasyonları en yüksek AS (435.10 mg N kg⁻¹ toprak⁻¹) uygulamasında ölçülmüştür. Bu uygulamayı sıra ile Üre (390.77 mg N kg⁻¹ toprak⁻¹) ve BGA (259.95 mg N kg⁻¹ toprak⁻¹) takip etmiştir. İnkübasyon sonucunda hem tuzlu hem de tuzsuz topraklarda ölçülen toprak nitrat içerikleri istatistiksel olarak da (P<0.05) önemli bulunmuştur. Genel olarak inkübasyon denemesi sonucunda azotlu gübrelerin tuzsuz toprak tipinde oluşturduğu nitrat konsantrasyonları, tuzlu toprak tipine kıyasla AS %31, Üre 14 ve BGA %5 oranında topraklarda daha fazla nitrat konsantrasyonlarını oluşturmuştur.

Çizelge 4.2 Farklı formdaki azot kaynaklı gübre uygulamalarına bağlı olarak topraktaki nitrat konsantrasyonunun zamansal değişimi [mg N kg^{-1} toprak $^{-1}$]

Toprak Tipi	Uygulamalar	7. Gün	14. Gün	32. Gün
Tuzsuz Toprak	Kontrol	78,63 ^B ± 7,41	88,27 ^C ± 7,16	141,60 ^D ± 9,87
	Üre	251,20 ^A ± 44,20	393,50 ^A ± 17,04	455,91 ^B ± 21,52
	AS	314,99 ^A ± 44,56	388,31 ^A ± 5,89	631,60 ^A ± 44,01
	BGA	209,19 ^A ± 21,52	267,15 ^B ± 25,77	273,15 ^C ± 23,19
Tuzlu Toprak	Kontrol	102,84 ^b ± 4,59	104,07 ^b ± 0,53	145,44 ^b ± 8,52
	Üre	135,81 ^{ab} ± 12,81	358,59 ^a ± 63,31	390,77 ^a ± 58,97
	AS	182,63 ^a ± 25,37	372,39 ^a ± 67,82	435,10 ^a ± 10,75
	BGA	140,15 ^{ab} ± 20,63	275,42 ^{ab} ± 62,37	259,95 ^b ± 36,23

Harfler çoklu karşılaştırma testi Duncan göre anlamlı farklılıkları ifade etmektedir ($P < 0.05$).

Farklı formlarda uygulanan azot kaynaklı gübrelerin iki zıt toprak tipinde neden olduğu NH_3 akış oranları oldukça farklı olmuştur (Şekil 4.3). Genel olarak deneme boyunca ölçülen NH_3 akış oranları tuzlu topraklarda AS ve BGA uygulaması, tuzsuz topraklara kıyasla daha yüksek emisyon oranlarına neden olmuştur. İnkübasyon denemesinin başlaması ile topraklarda meydana gelen NH_3 akış oranlarını daha detaylı incelemek ve elde edilen sonuçların dönemsel olarak yorumlanması için emisyon verileri üç farklı zaman diliminde detaylandırılmıştır (Çizelge 4.3). Çalışmanın ilk haftasında meydana gelen emisyon oranlarına göre tuzlu toprak tipinde AS ($4.22 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ gün}^{-1}$) uygulaması en yüksek NH_3 akış hızına sahip iken, bu uygulamayı sırası ile BGA ($3.94 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ gün}^{-1}$) ve Üre ($0.96 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ gün}^{-1}$) takip etmiştir.



Şekil 4.3. İnkübasyon denemesi boyunca Kontrol (gübre uygulaması olmayan), Üre, Amonyum-sülfat (AS) ve Biyogaz atığı (BGA) uygulamalarının tuzlu ve tuzsuz topraklarda meydana gelen günlük NH_3 salınımı ($n = 3$). Bazı durumlarda hata çubukları sembollerden daha küçüktür

İnkübasyon denemesinde meydana gelen NH_3 emisyonların neredeyse tamamına yakını ilk haftada meydana gelmiştir. Tuzsuz topraklarda meydana gelen ilk haftalık NH_3 emisyon oranları göre BGA ($2.46 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ gün}^{-1}$) uygulaması yapılan topraklarda en yüksek akış hızına sahip iken, bunu sırası ile AS ($1.71 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ gün}^{-1}$)

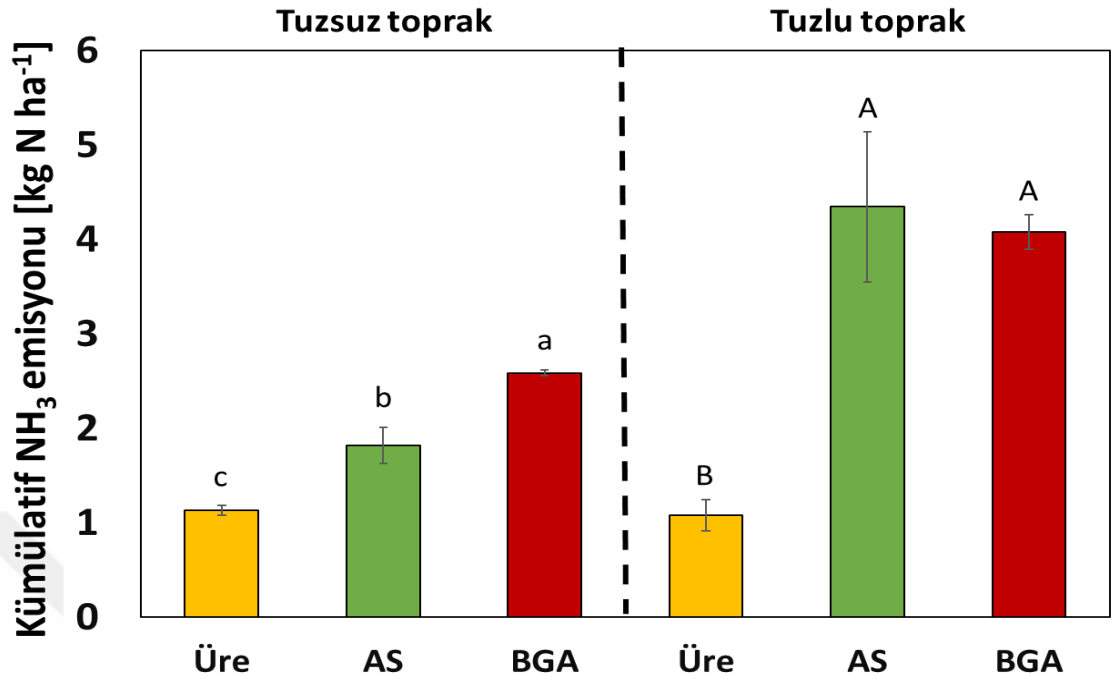
ve Üre ($1.03 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ gün}^{-1}$) takip etmiştir. Genel olarak tuzlu topraklarda ilk hafta meydana gelen NH_3 emisyon oranları tuzsuz topraklar ile kıyaslandığında AS uygulamasının %57, BGA %38 daha fazla iken, Üre uygulaması %7 oranında daha az NH_3 emisyonuna neden olmuştur.

Çizelge 4.3 Farklı formdaki azot kaynaklı gübre uygulamalarına bağlı olarak meydana gelen NH_3 emisyonlarının zamansal değişimi [kg N ha^{-1}]

Toprak Tipi	Uygulamalar	1-7 Gün	7-17 Gün	17-32 Gün	Kümülatif NH_3 Emisyonu
			[$\text{kg N ha}^{-1} \text{ gün}^{-1}$]		[kg N ha^{-1}]
Tuzsuz Toprak	Üre	$1.03^C \pm 0.05$	$0.03^B \pm 0.00$	$0.07^{AB} \pm 0.00$	$1.13^C \pm 0.05$
	AS	$1.71^B \pm 0.19$	$0.03^{AB} \pm 0.00$	$0.06^B \pm 0.00$	$1.80^B \pm 0.18$
	BGA	$2.46^A \pm 0.02$	$0.03^{AB} \pm 0.00$	$0.08^A \pm 0.00$	$2.57^A \pm 0.02$
Tuzlu Toprak	Üre	$0.96^b \pm 0.16$	$0.03^b \pm 0.00$	$0.07^a \pm 0.00$	$1.06^b \pm 0.16$
	AS	$4.22^a \pm 0.79$	$0.04^{ab} \pm 0.00$	$0.08^a \pm 0.00$	$4.34^b \pm 0.79$
	BGA	$3.94^a \pm 0.18$	$0.05^a \pm 0.00$	$0.08^a \pm 0.00$	$4.07^a \pm 0.18$

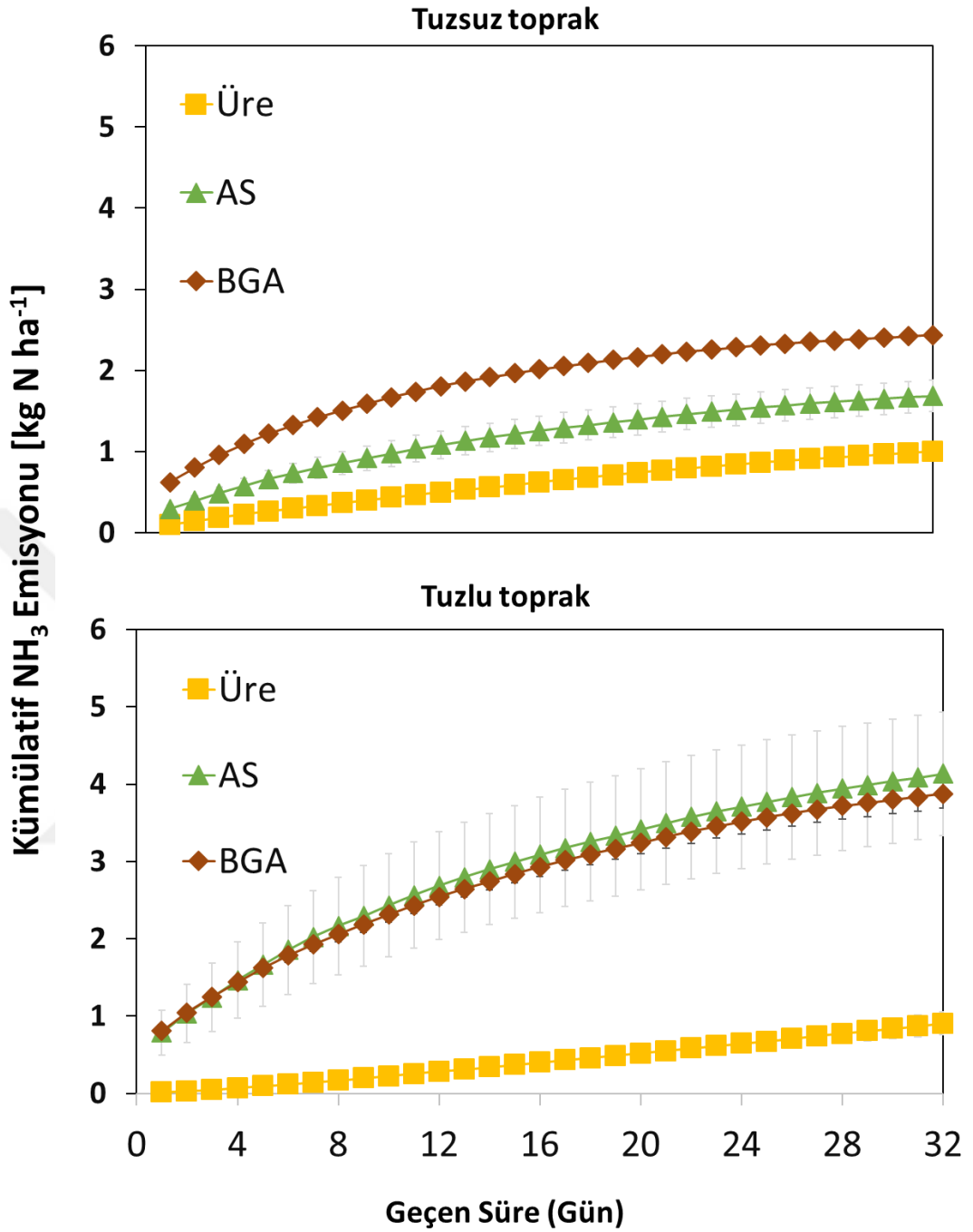
Harfler çoklu karşılaştırma testi Duncan göre anlamlı farklılıkları ifade etmektedir ($P < 0.05$).

İnkübasyon çalışmasında 32 gün süre ile azotlu gübre uygulaması yapılan topraklarda ölçülen NH_3 emisyon miktarlarının oluşturduğu kümülatif NH_3 emisyon oranları hem toprak tipinde hem de gübre tipine göre büyük farklılık ortaya çıkarmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. İnkübasyon denemesi boyunca Kontrol (gübre uygulaması olmayan), Üre, Amonyum-sülfat (AS) ve Biyogaz atığı (BGA) uygulamalarının tuzlu ve tuzsuz topraklarda meydana gelen kümülatif NH₃ salınımı (n = 3). Bazı durumlarda hata çubukları sembollerden daha küçüktür

Tuzlu toprak tipinde oluşan kümülatif NH₃ emisyon oranları, tuzsuz toprak tipine göre oldukça yüksek seviyelerde ölçülmüştür. Özellikle tuzlu toprak tipinde AS uygulaması (4.34 kg N ha⁻¹) en yüksek kümülatif emisyon oranına sahip iken, bunu sırası ile BGA (4.07 kg N ha⁻¹) ve Üre (1.06 kg N ha⁻¹) uygulamaları takip etmiştir (Çizelge 4.3).

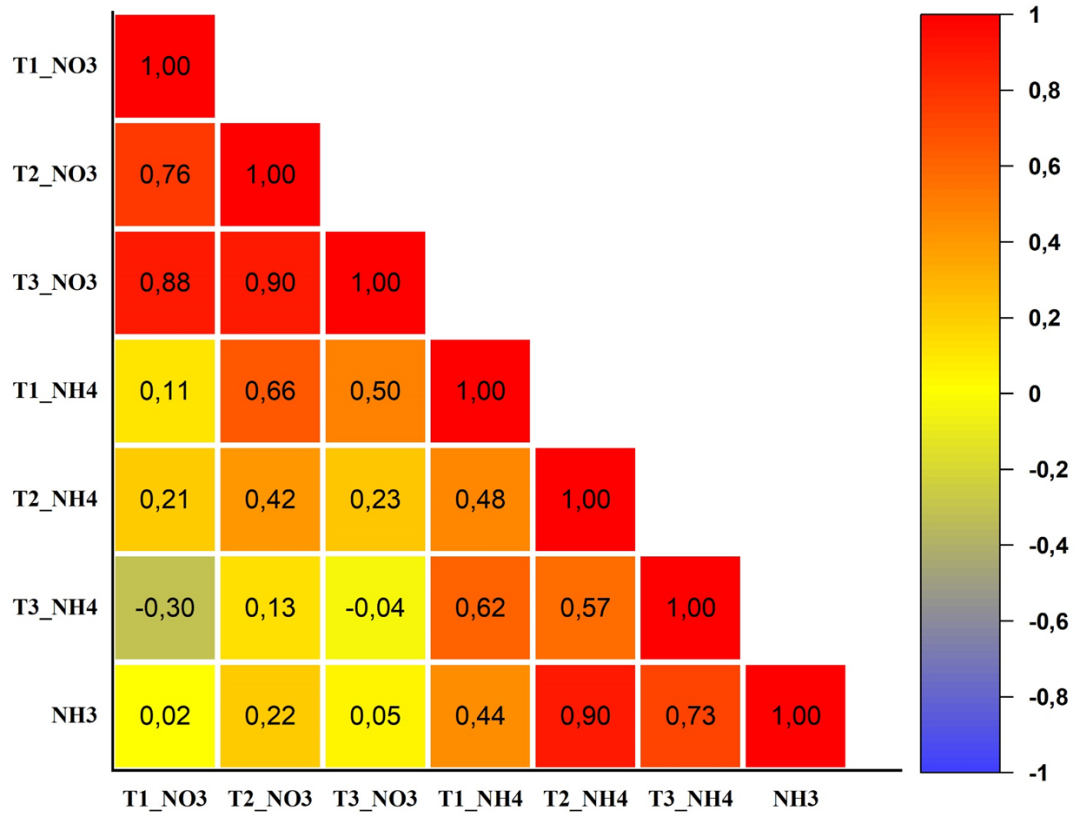


Şekil 4.5. İnkübasyon denemesi boyunca Kontrol (gübre uygulaması olmayan), Üre, Amonyum-sülfat (AS) ve Biyogaz atığı (BGA) uygulamalarının tuzlu ve tuzsuz topraklarda meydana gelen kümülatif NH₃ salınımı (n = 3). Bazı durumlarda hata çubukları sembollerden daha küçüktür

Tuzsuz topraklarda oluşan kümülatif NH₃ emisyon oranlarına göre en yüksek emisyon akış hızı BGA (2.57 kg N ha⁻¹) uygulanan topraklarda ölçülürken, bunu sırası ile AS (1.80 kg N ha⁻¹) ve Üre (1.13 kg N ha⁻¹) uygulamaları takip etmiştir. İki zıt toprak

tipinde gerçekleştirilen 32 günlük süre boyunca, tuzlu ve tuzsuz topraklarda amonyum bazlı gübrelerin (AS ve BGA) kullanıldığı topraklarda ölçülen NH_3 emisyon miktarlarından oluşan kümülatif NH_3 miktarı oldukça yüksek oranlarda olmuştur. Bu iki uygulama (AS ve BGA), özellikle Üre uygulaması ile karşılaştırıldığında çok daha yüksek NH_3 emisyonlarına neden olmuştur (Şekil 4.5). Kümülatif NH_3 emisyon oranlarına göre tuzlu toprak tipinde meydana gelen NH_3 emisyonları, tuzsuz topraklara yapılan uygulamalara oranla AS %59, BGA %37 ve Üre uygulaması ise %7 daha az NH_3 emisyonlarına neden olmuştur.

İki zıt toprak tipine farklı formlarda uygulanan azot kaynaklı gübrelerin topraklarda meydana gelebilecek potansiyel NH_3 emisyon oranlarının belirlenmesi ve bu emisyonları tetikleyen faktörlerin etki seviyelerini ölçmek için heat map kolerasyon analizi yapılmıştır (Şekil 4.6). İki zıt toprak tipinde meydana gelen NH_3 emisyon oranları inkübsasyon denemesi boyunca farklı dönemler yapılan özellikle toprak amonyum içerikleri ile kolerasyon katsayılarına göre yüksek düzeyde ilişkili bulunmuştur. NH_3 emisyon oranları, toprakların ilk hafta yani 7. (T1) günde ölçülen toprak amonyum içeriği ile kolerasyon katsayısına göre orta derecede ($r = 0.44$), 14 (T2) gün yüksek ($r = 0.90$) ve 32. günkü ($r = 0.73$) sonuçlara göre ise yüksek düzeyde ilişki belirlenmiştir.



Şekil 4.6. İnkübasyon denemesi boyunca ölçülen parametrelere ait heat map kolerasyon katsayıları

İnkübasyon denemesinin ilk hafta yani 7. günde (T1) ölçülen toprak nitrat içeriği diğer iki dönem ölçüm dönemi olan 14 (T2) ve 32. günlerdeki (T3) toprak nitrat içeriği ile aralarında çok güçlü bir ilişki belirlenmiştir. Bu ilişki kolerasyon katsayılarına göre T1 döneminde ölçülen toprak nitrat, T2 dönemi ile $r=0.76$ ve T3 dönemindeki toprak nitrat içeriği ile $r=0.88$ oranında yüksek ilişkili bulunmuştur (Şekil 4.6). T2 döneminde ölçülen toprak nitrat içeriği toprakta T3 döneminde ölçülen nitrat içeriği ($r=0.90$) ve T1 dönemi nde ölçülen toprak amonyum içeriği kolerasyon katsayısına göre ($r=0.66$) yüksek oranda ilişkili bulunmuştur. Bu dönem içerisinde bulunan diğer bir ilişki ise T2 dönemine ait toprak nitrat içeriğinin T2 dönemine ait toprak amonyum içeriği ile orta düzeyde ilişkili bulunmuştur. Topraklarda zamansal olarak ölçülen toprak amonyum içerikleri, T1 dönemi sırası ile T2 dönemi ile ($r=0.48$) orta düzeyde, T3 döneminde ($r=0.62$) ise yüksek ilişkili bulunmuştur.

4.2. Tartışma

Bu çalışmada, tuzlu ve tuzsuz iki farklı toprak tipinde azotlu gübre (Üre, Amonyum sülfat ve Biyogaz atığı) uygulamalarının nitrifikasyon ve amonyak emisyonları üzerindeki etkileri incelendiğinde, toprak tuzluluğunun nitrifikasyonu önemli ölçüde inhibe olmasına ve aynı zamanda amonyak emisyonunda ise önemli bir artışa neden olduğu görülmektedir. Nitrifikasyon, topraklara ilave edilen azotlu gübrelerin teşvik ettiği ve toprakta NH_4 veya NH_3 mikroorganizmalar tarafından kademeli olarak ilk adımda NO_2 ' ye ikinci adımda ise NO_3 dönüştürüldüğü biyolojik bir süreçtir. Tuzlu toprakların nitrat içeriği, tuzsuz topraklara kıyasla daha düşük seviyelerde kalmıştır. Nitrat konsantrasyonunun tuzlu topraklarda düşük seviyelerde gerçekleşmesinin bir kaç nedeni bulunmaktadır (Akhtar ve ark., 2012).

Tuzluluk, topraklardaki NH_4/NO_3 dengesinin sağlayan biyolojik ve mikrobiyal süreçleri yavaşlatarak azotun topraklardaki dönüşümünü önemli düzeyde etkileyebilmektedir (Lodhi ve ark., 2009). Nitrifikasyon sürecinde görev alan bakterilerin ortamda artan tuz konsantrasyonu ile ilk aşamada aktivitelerinde azalma meydana geldiğini daha sonraki süreçte ise bu bakterilerin ortamdaki popülasyonlarının azaldığını rapor etmiştir. Yapılan bir çalışmada nitrifikasyon sürecinde yer alan ve nitriti oksitleyen bakterilerin (NOB), amonyağı oksitleyen bakterilere (AOB) kıyasla toprak tuzluluğuna karşı oldukça hassas olduğunu bildirmişlerdir (Akhtar ve ark., 2012; Li ve ark., 2020). Nitriti oksitleyen bakterilerin toprak tuzluluğuna yüksek oranda hassas olmaları, bu bakterilerin ortamda tuzun varlığı ile faaliyet gösterememelerine bağlı olarak topraklarda yüksek oranda NO_2 birikiminin olabileceği öngörülmektedir (Li ve ark., 2020).

Farklı tuz içeriğine sahip topraklarda, farklı formlarda azotlu gübre kullanılarak yürütülen bir çalışmada topraklara uygulanan hem amonyum hem de nitrat bazlı gübrelerin topraklarda meydana getirdiği toprak nitrat içeriklerinin tuzsuz topraklarda, tuzlu topraklara kıyasla daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir (Günbegi, 2021). Toprak tuzluluğunun toprakta nitrat oluşum süreci olan nitrifikasyonu baskılaması veya tamamen engellemesi durumu topraktaki tuzun miktarına ve ayrıca toprağa ilave edilen diğer değişkenlere bağlı olduğunu rapor etmiştir (Laura, 1976). Nitrifikasyon sürecini yavaşlatan ve topraklarda amonyum birikimine neden olan tuzluluk,

topraklara uygulanan azotlu gübrelerin NH_3 formunda gaz kayıp oranlarının artışı tetikleyebilir (Zhang ve ark, 2018).

Çalışma sonuçlarımıza göre tuzlu topraklarda NH_3 emisyonu, tuzsuz topraklara oranla önemli ölçüde arttırmıştır. Amonyum bazlı gübreler (amonyum sülfat ve biyogaz atığı), üre gübresine oranla tuzlu topraklarda daha yüksek oranlarda NH_3 emisyonlarına neden olmuştur. Bazı çalışmalar, tuzdan etkilenmiş tarım topraklarında tuz ile NH_3 emisyonları arasında pozitif yönde bir korelasyon olduğunu rapor etmişlerdir (Zhenghu et Honglang, 2000; L. Zhu ve ark., 2015). Topraklara uygulanan üre ve amonyum gübrelerinin neden olduğu NH_3 emisyonlarını inceleyen araştırmacılar, amonyum gübresinin üre gübresine oranla daha fazla NH_3 emisyonlarına neden olduğunu bunun da esas nedeninin toprak tuzluluğu olduğunu rapor etmişlerdir (Mcclung ve Frankenberger, 1985). Azotlu gübrelerin toprak tuzluluğundan etkilenme düzeyini inceleyen bir çalışmada, üre ve amonyum sülfat gübresinin dekara 12 kg N olacak şekilde uygulayan araştırmacılar artan tuzluluk şiddetinin amonyum sülfat gübresi uygulanan topraklarda NH_3 emisyon oranlarının, üre uygulaması yapılan topraklara kıyasla daha yüksek ölçüldüğünü bildirmişlerdir (Li ve ark., 2020).

Amonyum bazlı gübrelerin üre gübresine kıyasla daha fazla NH_3 emisyonlarına neden olması tuzlu toprak koşullarında üreaz enzim aktivitesi genellikle azalır, bu da üre hidroliz hızında önemli bir azalmaya yol açar. Bu azalma toprak amonyum içeriğinin hızlı bir şekilde artmasını yavaşlatabilir ve bu durumda NH_3 buharlaşmasını azaltabilir (Carlos ve ark., 2022). Diğer taraftan, amonyağın nitratta dönüşümü mikrobiyal bir süreç olan nitrifikasyonda toprak tuzluluğuna karşı oldukça hassastır. Artan tuzluluk, nitrifikasyonu inhibe edebilir, dolayısı ile nitrifikasyonun inhibe olmasının doğal bir sonucu olarak topraklarda amonyak konsantrasyonlarının artmasına ve potansiyel NH_3 emisyonlarının artmasına neden olabilir (G. Zhu ve ark., 2022).

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Çalışma sonuçlarına göre;

Tuzluluk problemi ve yüksek pH' ya sahip topraklarda azotlu gübrelerin gaz kayıp oranları yüksek olabilmektedir. Üre gübresi, her iki toprak tipinde de amonyum sülfat ve biyogaz atığı gibi amonyum bazlı gübrelere oranla daha düşük NH_3 emisyonlarına neden oldu. Bu nedenle, yüksek pH ve tuzluluk sorunu görülen tarım arazilerinde amonyum bazlı gübrelerin kullanımından kaçınılmalıdır. Tuzluluk, topraklarda amonyum birikimine neden olarak nitrifikasyon gibi mikrobiyal süreçlerin inhibe edilmesine ve sonuçta toprak nitrat içeriklerinin düşük seviyelerde olmasına neden olmuştur.

5.2. Öneriler

Tarımsal üretimde kaliteli mahsül ve yüksek verim artışı gibi önemli talepler azotlu gübre kullanımını daha da arttırmaktadır. Tuzluluk problemi görülen Harran ovası gibi tarımsal üretimin yoğun yapıldığı bölge topraklarında azotlu gübre etkinliğinin artırılması ve meydana gelebilecek potansiyel azotlu NH_3 gaz kayıplarının azaltılması için amonyum bazlı gübrelerin kullanılmasından kaçınılmalıdır. Bölge topraklarında, toprak yüzeyinde meydana gelebilecek potansiyel NH_3 emisyonlarının azaltılmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesi için daha detaylı saha ve laboratuvar çalışmalarına gereksinim bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

- AKHTAR, M., HUSSAİN, F., ASHRAF, M. Y., QURESHİ, T. M., AKHTER, J. and AWAN, A. R., 2012. Influence of Salinity on Nitrogen Transformations in Soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43(12):1674–1683.
- BAETHGEN, W. E. and ALLEY, M. M. 1989., A manual colorimetric procedure for measuring ammonium nitrogen in soil and plant Kjeldahl digests. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 20(9–10):961–969.
- BERNHARD, A. E., TUCKER, J., GİBLİN, A. E. and STAHL, D. A., 2007. Functionally distinct communities of ammonia-oxidizing bacteria along an estuarine salinity gradient. *Environmental Microbiology*, 9(6):1439–1447.
- CARLOS, F. S., KUNDE, R. J., DE SOUSA, R. O., WEINERT, C., DA ROSA ULGUİM, A., VİERO, F., ROSSİ, I., BUCHAİN, M. P., BOECHAT, C. L. and DE OLIVEİRA CAMARGO, F. A. 2022., Urease inhibitor reduces ammonia volatilization and increases rice grain yield under irrigation delay. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 122(3):313–324.
- CHEN, J.W., YANG, Z. Q., ZHOU, P., HAİ, M.-R., TANG, T.-X., LIANG, Y.-L. and AN, T.-X., 2013. Biomass accumulation and partitioning, photosynthesis, and photosynthetic induction in field-grown maize (*Zea mays* L.) under low- and high-nitrogen conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35(1):95–105.
- DUAN, F. K., HE, K. B., MA, Y. L., YANG, F. M., YU, X. C., CADLE, S. H., CHAN, T. and MULAWA, P. A., 2006. Concentration and chemical characteristics of PM_{2.5} in Beijing, China: 2001–2002. *Science of The Total Environment*, 355(1):264–275.
- KARLSSON, H. and SİNİSALO, S., 2017. Air Quality Monitoring with Photoacoustic Spectroscopy. *Optik & Photonik*, 12(1):36–39.
- KUMAR, U., KUMAR, V. and SİNGH, J. P., 2007. Effect of different factors on hydrolysis and nitrification of urea in soils. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 53(2):173–182.
- LAURA, R. D., 1976. Effects of alkali salts on carbon and nitrogen mineralization of organic matter in soil. *Plant and Soil*, 44(3):587–596.
- Lİ, Y., XU, J., LİU, S., Qİ, Z., WANG, H., WEİ, Q., GU, Z., LİU, X. and HAMEED, F., 2020. Salinity-induced concomitant increases in soil ammonia volatilization and nitrous oxide emission. *Geoderma*, 361:114053.
- LODHİ, A., ARSHAD, M., AZAM, F., SAJJAD, M. H., 2009. Changes in mineral and mineralizable N of soil incubated at varying salinity, moisture and temperature regimes. *Pak. J. Bot*, 41(2):967–980.
- MCCLUNG, G. and FRANKENBERGER, W. T., 1985. Soil Nitrogen Transformations As Affected By Salinity. *Soil Science*, 139(5):405.
- RAJPUT, V. D., CHEN, Y., AYUP, M., 2015. Effects of high salinity on physiological and anatomical indices in the early stages of *Populus euphratica* growth. *Russian Journal of Plant Physiology*, 62(2):229–236.
- ROCHETTE, P., ANGERS, D. A., CHANTİGNY, M. H., GASSER, M.-O., MACDONALD, J. D., PELSTER, D. E. and BERTRAND, N., 2013. Ammonia Volatilization and Nitrogen Retention: How Deep to Incorporate Urea? *Journal of Environmental Quality*, 42(6):1635–1642.

- SAHAB, S., SUHANI, I., SRIVASTAVA, V., CHAUHAN, P. S., SINGH, R. P. and PRASAD, V., 2021. Potential risk assessment of soil salinity to agroecosystem sustainability: Current status and management strategies. *Science of The Total Environment*, 764:144164.
- SINGH, B. and BAJWA, M. S., 1986. Studies on the leaching of urea in sodic soils. *The Journal of Agricultural Science*, 106(2):323–330.
- WILD, A., 2003. *Soils, Land and Food: Managing the Land During the Twenty-First Century*, Cambridge University Press. p. 260. ISBN: 978-0-521-52759-0
- WISE, T. A., 2013. Can we feed the world in 2050. A Scoping Paper to Assess the Evidence. *Global Development and Environment Institute Working Paper*, (13–04).
- YANG, J. E., KIM, J. J., SKOGLEY, E. O. and SCHAFF, B. E., 1998. A Simple Spectrophotometric Determination of Nitrate in Water, Resin, and Soil Extracts. *Soil Science Society of America Journal*, 62(4):1108–1115.
- YANG, X., WANG, X., ZHANG, Y., LEE, J., SU, J. and GATES, R. S., 2011. Characterization of trace elements and ions in PM10 and PM2.5 emitted from animal confinement buildings. *Atmospheric Environment*, 45(39):7096–7104.
- ZHANG, C., XUE, S., LIU, G.-B. and SONG, Z.-L., 2011. A comparison of soil qualities of different revegetation types in the Loess Plateau, China. *Plant and Soil*, 347(1):163–178.
- ZHANG, Z., SONG, L., WANG, B., SHAO, H., ZHANG, L. and QIN, X., 2018. Co-effects of salinity and moisture on CO₂ and N₂O emissions of laboratory-incubated salt-affected soils from different vegetation types. *Geoderma*, 332:109–120.
- ZHENG, Z., LI, J., MA, J., DU, J., BIAN, W., LI, Y., ZHANG, Y. and ZHAO, B., 2016. Nitrogen removal via simultaneous partial nitrification, anammox and denitrification (SNAD) process under high DO condition. *Biodegradation*, 27(4):195–208.
- ZHENGHU, D. and HONGLANG, X., 2000. Effects of soil properties on ammonia volatilization. *Soil Science and Plant Nutrition*, 46(4):845–852.
- ZHU, G., WANG, X., WANG, S., YU, L., ARMANBEK, G., YU, J., JIANG, L., YUAN, D., GUO, Z. and ZHANG, H., 2022. Towards a more labor-saving way in microbial ammonium oxidation: A review on complete ammonia oxidization (comammox). *Science of the Total Environment*, 829:154590.
- ZHU, L., HENZE, D. K., BASH, J. O., CADY-PEREIRA, K. E., SHEPHARD, M. W., LUO, M. and CAPPS, S. L., 2015. Sources and Impacts of Atmospheric NH₃: Current Understanding and Frontiers for Modeling, Measurements, and Remote Sensing in North America. *Current Pollution Reports*, 1(2):95–116.