T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUZLU TOPRAK KOŞULLARININ NİTRAT SENSÖRÜ KULLANIMI VE N_2O EMİSYONUNA ETKİSİ

Hayriye GÜNBEGİ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME BÖLÜMÜ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

Özet i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
1.GİRİŞ 1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 5
2.1.Azotun Tarımsal Üretim İçin Önemi 5
2.2.Toprakta Azot Kayıpları 6
2.3.Toprak N_2O Emisyon Kaynakları 7
2.4.Toprak Tuzluluğu Ve N_2O İlişkisi 8
2.5.Nitrat İyonu Seçici Elektrot 10
3.MATERYAL ve YÖNTEM 13
3.1.Materyal 13
3.1.1. Denemenin kurulduğu yer ve tarih 13
3.1.2. Deneme materyali (toprak): 13
3.1.3.Robotik sürekli akım toprak-denitrifikasyon inkübasyon sistemi 13
3.1.4.Çalışmada kullanılan nitrat iyon seçici elektrot ve özellikleri 15
3.2.Yöntem 16
3.2.1.Deneme kurulumu ve hazırlık aşaması 16
3.2.2.Deneme yapılan analizler 17
3.2.3.Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi 18
4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 19
4.1.Araştırma Bulguları 19
4.2.Tartışma 25
5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER 30
5.1.Sonuçlar 30
5.2.Öneriler 30
KAYNAKLAR 31
ÖZGEÇMİŞ 34

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TUZLU TOPRAK KOŞULLARININ NİTRAT SENSÖRÜ KULLANIMI VE N_2OEMİSYONUNA ETKİSİ

Hayriye GÜNBEGİ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mehmet ŞENBAYRAM
YIL: 2021, Sayfa: 35

Tuzlu toprak koşullarında, toprak N döngüleri üzerindeki etkiyi incelemek, tuzlu toprakların N kullanım verimliliğini iyileştirmek ve meydana gelen hidrolojik ve gazlı N kayıplarının azaltılması gereklidir. Azotlu gübre kullanımının artması çevre ve su kaynaklarını kirlenmesine ilaveten azot oksit (N_2O) emisyonu yoluyla küresel ısınmaya neden olmaktadır**.** Tarımsal kaynaklı N_2O emisyonunda denitrifikasyon aktivitesi önemli rol oynamakta ve toprak NO_3^- içeriği denitrifikasyon hızını kontrol eden önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Yürütülen bu çalışmada, azotlu gübreleme yapılan farklı tuz içeriğine sahip topraklarda, toprak tuzluluğunun N_2O emisyonuna etkisi ve nitrat sensörünün toprak nitrat içeriğini belirlemedeki potansiyeli belirlenmiştir. Bu çalışma, robotik, sürekli akım toprak-denitrifikasyon inkübasyon sistemi kullanılarak tamamlanmıştır. Tuzsuz toprak (EC:1,089 dS/m) ve tuzlu toprak (EC: 6,17 dS/m) buğday anızı (1 g kg^{-1} toprak) ile homojen karıştırılmış ve %75 su tutma seviyesine getirilerek inkübasyon çemberlerine koyulmuştur. Denemede her iki toprak türüne azotsuz (kontrol), 15 kg N da^{-1} potasyum-nitrat veya amonyum-sülfat uygulamaları yapılmıştır. Deneme topraklarının nitrat içeriği kolorimetrik yöntem ve nitrat sensörü ile belirlenmiştir. Her iki toprakta da azotlu gübre uygulamalarının N_2O emisyonunu arttırdığı görülmüştür. Topraklar kıyaslandığında, özellikle potasyum-nitrat uygulanan tuzlu toprakta N_2O emisyonu artışının, tuzsuz toprağa göre çok yüksek olduğu belirlenmiştir. Tuzluluğunun N_2O üretiminden sorumlu olan nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçlerini etkilediği bilinmektedir. Tamamlanan bu çalışmada toprak tuzluluğu N_2O emisyonu ilişkisinin özellikle uygulanan gübre formuna bağlı olduğu anlaşılmıştır. Nitrat sensörü ile yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlar özellikle tuzlu topraklar için laboratuvar koşullarında yapılan kolorimetrik analiz sonuçlarıyla uyum göstermemiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Nitrat, Alkali-Tuzlu Toprak, Nitrat Sensörü, N_2O, Azotlu Gübreleme

ABSTRACT

MSc Thesis

THE EFFECT OF SALT SOIL CONDITIONS ON NITRATE SENSOR USAGE AND N_2O EMISSIONS

Hayriye GÜNBEGİ

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet ŞENBAYRAM
Year: 2021, Page: 35

Soil salinity may effect soil N cycles, N utilization efficiency and gaseous N losses. Interactive effect of soil salinity and nitrogenous fertilizer forms on soil born greenhouse gas emission is poorly understood. Denitrification activity and soil NO_3^- content plays an important role on N_2O formation in agricultural soils. In this study, the effect of soil salinity on N_2O emission and the potential use of nitrate sensors on determining soil NO_3^- content in saline soils was studied. We used robotic continuous flow soil-denitrification incubation system to study soil born trace gas emissions under controlled conditions. Control (EC: 1.089 dS/m) and salty (EC: 6.17 dS/m) soil were mixed with wheat straw (1 g kg^{-1} soil) homogeneously and soil moisture was adjusted to 75% water holding capacity and packed in incubation vessels. Three nitrogen treatments were consisted of i) non-fertilized control, ii) potassium-nitrate (15 kg N da^{-1}) and iii) ammonium-sulphate (15 kg N da^{-1}) treatments in each soils. The nitrate content of the soils was determined by both colorimetric method and nitrate sensor. Nitrogen fertilizer applications increased N_2O emission in all soils. Potassium-nitrate application increased N_2O flux rates drastically specifically in the salty soil. In the control soil however, fertilizer addition increased N_2O emissions slightly with the effect being more dominant in the ammonium sulphate treatment. Overall poor correlation was observed between nitrate sensor data and colorimetric NO_3^- analysis especially for saline soils.

KEYWORDS: Nitrate, Alkaline-Saline Soil, Nitrate Sensor, N_2O, Nitrogen Fertilization

TEŞEKKÜR

Çalışmanın planlanması ve yürütülmesinde yol gösteren danışmanım Doç. Dr. Mehmet ŞENBAYRAM'a katkılarından dolayı teşekkür ederim. Üniversite hayatım boyunca bilgi ve tecrübelerini paylaşan Prof. Dr. Mehmet Ali ÇULLU'ya desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Bana hayatım boyunca emek veren ve her zaman yanımda olan başta annem Meral GÜNBEGİ, Abdulkadir GÜNBEGİ ve en büyük destekçim olan değerli ablalarım İhlas GÜNBEGİ ve Serap GÜNBEGİ' tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Laboratuvar koşullarında kurulan inkubasyon sistemi 14

Şekil 3.2. Toprak örneklerinde NO_3^- içeriklerinin belirlenmesinde kullanılan nitrat sensorü..... 16

Şekil 4.1. İnkübasyon denemesi süresince Kontrol (TC) (gübresiz); Potasyum-nitrat uygulanmış (TN), Amonyum-sülfat uygulanmış (TS), tuzsuz topraklarda tüm deneme boyunca meydana gelen saatlik N_2O salınımı (n = 3)..... 198

Şekil 4.2. İnkübasyon denemesi süresince Kontrol (AC) (gübresiz); Potasyum-nitrat uygulanmış (AN), Amonyum-sülfat uygulanmış (AS), tuzlu topraklarda tüm deneme boyunca meydana gelen saatlik N_2O salınımı (n = 3)..... 19

Şekil 4.3. İnkübasyon denemesi süresince Kontrol (TC = tuzsuz toprak gübresiz); Potasyum-nitrat uygulanmış (TN = tuzsuz toprak), Amonyum-sülfat uygulanmış (TS = tuzsuz toprak), Kontrol (AC= tuzlu toprak gübresiz); Potasyum-nitrat uygulanmış (AN = tuzlu toprak), Amonyum-sülfat uygulanmış (AS = tuzlu toprak) topraklarda tüm deneme boyunca meydana gelen kümülatif N_2O salınımı (n = 3). ……..20

Şekil 4.4. İnkübasyon denemesi süresince Kontrol (TC)(gübresiz); Potasyum-nitrat uygulanmış (TN), Amonyum-sülfat uygulanmış (TS), tuzsuz topraklarda tüm deneme boyunca meydana gelen kümülatif N_2O salınımı (n = 3)..... 2120

Şekil 4.5. İnkübasyon denemesi süresince Kontrol (AC) (gübresiz); Potasyum-nitrat uygulanmış (AN), Amonyum-sülfat uygulanmış (AS), tuzlu topraklarda tüm deneme boyunca meydana gelen kümülatif N_2O salınımı (n = 3)..... 2221

Şekil 4.6. İnkübasyon denemesi süresince ölçülen tuzsuz ve tuzlu toprak nitrat (NO_3^-) konsantrasyonları (mg N kg^{-1} toprak) Kontrol (TC = tuzsuz toprak gübresiz); Potasyum-nitrat uygulanmış (TN = tuzsuz toprak), Amonyum-sülfat uygulanmış (TS = tuzsuz toprak), Kontrol (AC= tuzlu toprak gübresiz); Potasyum-nitrat uygulanmış (AN = tuzlu toprak), Amonyum-sülfat uygulanmış (AS = tuzlu toprak) (n = 3)……..22

Şekil 4.7. Proje tuzsuz toprak (ön çalışma), tuzlu toprak ve tuzsuz toprak NO_3^- içeriklerinin farklı yöntemlerle karşılaştırılması. Kolorimetrik NO_3^- analiz metodu ve nitrat seçici elektrot metodu 23

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3. 1. İnkübasyon denemesinde kullanılan uygulamalar ve her bir uygulamada bulunan azot kaynağı ve miktarı……..……..……..……...15

Çizelge 4. 1. Farklı uygulamalara bağlı olarak toprakta nitrat içeriği ve toplam N_2O salınımı……24

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AC	Tuzlu Toprak Kontrol (Gübresiz) Uygulaması
AN	Tuzlu Toprak 15 kg/da Potasyum Nitrat Uygulaması
AS	Tuzlu Toprak 15 kg/da Amonyum Sülfat Uygulaması
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_2O	Nitroz Oksit
NH_4	Amonyum
P=0.01	İstatistik Önem Seviyesi
TC	Tuzsuz Toprak Kontrol (Gübresiz) Uygulaması
TN	Tuzsuz Toprak 15 kg/da Potasyum Nitrat Uygulaması
TS	Tuzsuz Toprak 15 kg/da Amonyum Sülfat Uygulaması

1.GİRİŞ

Dünya nüfusunun 2050 yılında %34 oranında artacağı ve 9,1 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir (FAO, 2015). Artan nüfusun beraberinde getirdiği başlıca sorun gıda talebindeki artıştır. Artan talebin karşılanması tarımsal verimin artışıyla sağlanabilir. Bu nedenle tarımsal üretim yöntemlerinin iyileştirilmesi ve artırılması kaçınılmaz bir zorunluluk oluşturmaktadır. Tarımsal alanlarda üretimin doğru yönetilmesi ile gıda güvenliğinin sağlanması, ürün verimi, tarımsal girdilerin azaltılması ve üretici gelirlerinin artması hedeflenmektedir.

Tarım topraklarının verimliliği ve sürekliliğinin sağlanması çeşitli şekillerde topraktan kayıplara uğrayan bitki besin elementlerinin toprağa geri verilmesi ile mümkündür. Tarım alanlarında bitkisel verimin arttırılmasında en önemli etkenlerden biri gübrelerdir. Türkiye'de kullanılan kimyasal gübre (yalnızca N. P ve K) miktarı 2019 yılında yaklaşık 13 milyon ton' dur ve bu kullanım miktarının yaklaşık olarak %65'ini azotlu gübreler oluşturmaktadır. Ülkemizde 2019 yılında yaklaşık olarak 8 milyon ton azotlu gübre kullanılmıştır (TÜİK, 2019).

Azot, bitki gelişimi ve mahsul verimi açısından tarımsal üretimde en önemli unsurdur. Bitkilerin vejetatif gelişimini destekler ve bitki fizyolojisinde önemli rol oynar. Dolayısıyla bitkisel üretimde sınırlayıcı bir faktör olup verim ve kalite üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Atmosferde %78 oranında N bulunmasına rağmen bitkiler bu azottan doğrudan faydalanamazlar (Fernandes and Rossiello, 1995). Atmosferde bulunan elementer azotun bazı canlıların kullanabilir formlara dönüşmesi, bir dizi süreçlerin (fiksasyon, amonifikasyon, nitrifikasyon, denitrifikasyon, mineralizasyon ve asimilasyon) gerçekleşmesi sonucu oluşmaktadır. Toprakta azot konsantrasyonun artması, yıldırım, şimşek gibi atmosferik olaylarla, bazı baklagil bitkilerin köklerindeki bakteriler aracığıyla, canlıların ölü kalıntılarıyla veya gübre ilavesi ile gerçekleşmektedir.

Toprakta amonyum uygun nitrifikasyon koşulları altında nitrat (NO_3^-) formuna dönüşebilmektedir. Ancak nitrat (NO_3^-) negatif sahiptir ve çok hareketli bir anyon olmasından dolayı bazı toprak türlerinde yıkanma potansiyeli yüksektir (Günal ve ark.,2017). Aşırı yağış ve sulama durumunda suda çözünebilen nitrat hızla drenaj suyu ve yüzey akışı ile topraktan uzaklaşabilmektedir. Topraktan nitratın uzaklaşması gübre etkinliğini azaltmakta, içme suyu ve çevre kirliliğine sebep olmaktadır (Önal, 2019).

Toprağa uygulanan azotlu gübrelerin %2-10'luk kısmının yüzey ve yüzeyaltı sularına karıştığı ifade edilmektedir. Tarımsal alanlardaki yer altı sularının yaklaşık %20'inde ve akarsuların %10'unda uluslararası içme suyu standardı olan 10 ppm den daha yüksek nitrat konsantrasyonu tespit edilmiştir (Sönmez ve Demir, 2011).

Toprakta meydan gelen azot kayıpları, gübre etkinliğini azaltmasıyla beklenen verimi karşılayamamaktadır. Tarımsal üretim alanlarında küresel ölçekte bakıldığında eklenen reaktif azotun yalnızca %47'si hasat ürünlerine dönüşebilmektedir. Sonuç olarak verim için uygulanan gübrelerin yarısından fazlası kayba uğramaktadır. Dolayısıyla bu durum tarımsal üretimde sürekli olarak azotlu gübreleme ihtiyacını oluşturmaktadır (Wu ve ark., 2017). Toprağa uygulanan organik veya inorganik gübrelerin bir kısmı toprakta bulunan mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen nitrifikasyon ve denitrifikasyon adlı mikrobiyal işlemler sırasında NO, N_2O veya N_2'ye dönüşerek gaz halinde salınabilir. Azot uygulamasından sonra meydana gelen gaz (NH_3, NO, N_2O veya N_2) kayıpları, uygulanan miktarın yaklaşık olarak 1/3'ünü oluşturduğu belirtilmektedir (Benjamin ve ark., 2014).

Toprağa uygulanan gübrelerden meydana gelen azot kayıpları sadece ekonomik olarak değil aynı zamanda küresel ısınma ve iklim değişikliği üzerinde de önemli bir role sahiptir. Küresel ısınma potansiyeli karbondioksitten (CO_2) 300 kat daha fazla olan nitröz oksit (N_2O) gazı, stratosferik ozonun yok edilmesinde anahtar bir unsurdur. Küresel olarak, en büyük antropojenik N_2O kaynağı topraklardır ve antropojenik N_2O emisyonlarının yaklaşık %59'undan tarımsal faaliyetler sorumludur (Wu ve ark., 2017).

Topraklardan N_2O üretiminin, nitrifikasyon ve denitrifikasyon olayları gibi mikrobiyal işlemler sonucunda meydana geldiği bilinmektedir (Reddy ve Crohn, 2014). Nitrifikasyon; toprakta bulunan bakteriler (nitrosomanas ve nitrobakter) tarafından amonyumun önce nitrite daha sonra nitrata dönüştürülmesidir (Deniz, 2019). Nitrifikasyon olayı sırasında da N_2O gazı açığa çıkabilir. Ancak topraklarda N_2O üretiminde denitrifikasyonun, nitrifikasyona göre daha büyük payı olduğu belirtilmiştir (Köbke ve ark., 2018). Denitrifikasyon, topraktaki oksijenin yeterli düzeyde olmaması durumunda (aşırı nemli toprak koşulu gibi) gerçekleşir. Mikroorganizmalar (bazı bakteri ve mantar türleri) tarafından nitrit ve nitrat bileşikleri, elektron akseptörü (oksijen yerine) kullanılarak NO, N_2O veya N_2'ye dönüştürülür (İlik, 2019). Denitrifikasyon hızı, toprak nem durumu (sulama ve yağışa bağlı), organik madde miktarı, pH, tuzluluk ve nitrat (NO_3^-) miktarına bağlıdır (Wu ve ark., 2017). Topraktaki düşük nitrat konsantrasyonu ile yüksek yarayışlı karbon (C) içeriği daha düşük bir N_2O / (N_2O+N_2) ürün denitrifikasyon oranına yol açabilir. Bunun sonucunda N_2O emisyonunda azalış meydana gelmektedir (Wu ve ark., 2017).

Toprakta tuz konsantrasyonunun, azot döngüsü üzerinde etkileri vardır. Topraktaki tuz konsantrasyonunda artış meydana geldiğinde ve yüksek nem koşullarında azot mineralizasyonunda azalma meydana gelir. Yüksek tuzluluk koşullarında amonyak formunda azot kayıplarında artışa neden olabilir. Tuzluluk artışı, amonyumun nitrata dönüşmesi (nitrifikasyon) sürecinde mikrobiyal aktiviteyi etkiler ve amonyumun nitrata dönüşmesinde azaltıcı bir etki yaratır (Zhang ve ark., 2018).

Toprak tuzluluğu, aynı zamanda sera gazı emisyonunu da etkiler. Yapılan çalışmalarda tuzluluğun artmasıyla N_2O emisyonunda artış veya azalışların meydana geldiğini bildirilmiştir (Maucieri ve ark., 2017). Sulama suyunda tuz konsantrasyonu artışının, topraktaki N_2O emisyonlarına etkisi bulunmazken, tuzluluğun pamuk ekimi yapılan alanlarda toprak N_2O emisyonunu arttırdığı gözlenmiştir (Maucieri ve ark., 2017).

Topraktan salınan N_2O gazı sadece toprak koşullarında meydana gelen değişiklerle değil, aynı zaman toprağa uygulanan azotlu gübre türleri ve miktarı ile de yakından ilgilidir. Yapılan çalışmada farklı tarımsal-ekosistem topraklarında nemli ve yarayışlı organik madde miktarının orta ve yüksek olduğu koşullarda denitrifikasyon olayının N_2O emisyonun başlıca kaynağı olduğu, kumlu ve organik madde bakımından zayıf topraklarda ise N_2O emisyon kaynağının nitrifikasyon olabileceği belirtilmiştir (Senbayram ve ark., 2019).

Topraktan salınan azot gazlarının ana unsurları nitrifikasyon ve denitrifikasyon olaylarıdır ve her iki olayda toprak nitrat konsantrasyonu kilit rol oynamaktadır. Bu yüzden toprak nitrat içeriğinin izlenmesi ve belirlenmesi N_2O emisyonunun azaltılmasında ve uygulanan gübrelerin etkinliğinin arttırılması için gereklidir.

Mevcut olarak laboratuvar koşullarında kullanılan yöntemler (kolorimetrik, iyon kromotgrafisi, akış enjeksiyonu, kjedahl damıtma, vs.) zaman alıcı ve yüksek maliyetlidir. Bir alternatif olan nitrat iyon seçici elektrot toprak nitrat konsantrasyonlarının belirlenmesinde hızlı ve güvenilir bir araç olabilir. İyon seçici elektrotlar basit yapıları ve işlevsellikleriyle tarımsal alanlarda avantajlı bir şekilde kullanılabilirler. İyon seçici elektrot, çözeltideki spesifik iyonik aktivitesini, Nerst denklemine izleyen bir voltmetre ile ölçebilen ve bir elektrik potansiyeline dönüştüren elektroanalitik sensörlerdir (Gioia ve ark., 2010). Tarımsal üretimde verimliliğin artmasının başlıca unsuru olan gübreleme uygulamalarının girdi maliyetlerinin azaltılması ve gübre etkinliğinin arttırılması ve kayıplarının azaltılmasına yönelik teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesi sürdürülebilir bir tarım için zorunluluk oluşturmaktadır.

Yukarıda değinilen konular ile yapılan bu çalışmada; i) azotlu gübreleme yapılan tuzlu topraklarda nitrat sensör kullanım potansiyeli ile ii) toprak tuzluluğunun nitrat konsantrasyonu ve N_2O emisyonu üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Azotun Tarımsal Üretim İçin Önemi

Dünya da artan nüfus artışının getirdiği gereklilik arasında gıda talebi önemli bir sorun oluşturmaktadır. Dolasıyla gıda talebini karşılanmasında tarımsal üretimin arttırılması gereklidir. Tarımsal üretimde kilit faktör oynayan kimyasal gübrelerin önemi artış görülmektedir.

Dünya da gübre tüketimi hammadde ve tüketim bölgelerine şekillenmesine rağmen 2017 yılında toplam gübre tüketim yaklaşık 190 milyon ton NPK üretilmiş olup %59'lik oranla azotlu gübreler büyük kısmını oluşturmaktadır (FAO 2017). 2017 yılı verilerine göre ülkemizde saf bitki besin maddesi (NPK) bazında tüketilen gübre miktarı 6.3 milyon ton olup, bunun % 67'sini azotlu gübreler oluşturmaktadır (TÜİK 2019).

Azot, tarımsal üretimde kültür bitkilerinin gelişiminde rol oynayan ana unsurlardan biridir. Azot bitki bünyesinde genç dokular, tohumlar ve aktif büyüyen kısımlarda yüksek konsantrasyonda (%3-7) bulunmaktadır (Novoa and Loomis, 1981). Toprakta bulunan organik azotun bitkiler için yarayışlı hale gelmesi için mineralize olması gerekir. Mineralizasyon süreci amonifikasyon ve nitrifikasyon olaylarını kapsamaktadır. Ayrıca mikroorganizma faaliyetleri sonucunda biyokimyasal olarak atmosferdeki serbest halde bulunan elementer azotun, organik forma dönüştürülmesi (biyolojik azot fiksasyonun) ile de N kazancı sağlanır (Soyergin, 2003).

Bitkiler için azot hem yapısal hem de enzimatik proteinlerin sentezi için gereklidir. Azot enzim sentezinde rol oynamasının yanı sıra metabolik ara ürünlerin ve hücrelerin yapısında ve depo bileşiklerinin de ana bileşenidir. Azotu hücre ve organların büyümesi için gereklidir. Bu nedenle bitkisel üretim ve verimlilik açısından azot vazgeçilmez bir unsurdur (Lawlor ve ark., 2001).

2.2. Toprakta Azot Kayıpları

Tarımsal üretimde yüksek verim için tarım uygulamalarının başında azotlu gübreler gelmektedir. Azotlu gübrelerin üretim (Haber-Bosch prosesi), taşıma ve uygulama sürecinde atmosfer, toprak ve su kaynaklarına doğrudan ve dolaylı olarak yüksek kirletici etkisi bulunmaktadır. Dolayısıyla azotlu gübreler tarımsal ekosistem de hem yerel hem de küresel ölçekte yüksek etki oluşturmaktadır (Basosi ve ark., 2014). Küresel ölçekte bakıldığında sürdürülebilir tarım açısından azot bazlı gübre kullanımlarının verim artışına sağladığı katkılara ek olarak kirletici olarak önemli bir sorundur. Tarımsal alanlarda uygulanan azotlu gübrenin hedef sistem tarafından alınmadığında gaz formlarına (NO, N_2O veya N_2) veya yıkanan formlara (örneğin nitrat) dönüşebilir ve bu kayıpların meydana gelmesiyle uygulanan N gübrelerin sadece %47'si hedef sistem tarafından kullanılabilmektedir (Wu ve ark., 2017). Dolaysıyla toprağa uygulanan azotlu gübrelerde meydana gelen kayıplar ürün kalitesini ve verimi azaltmakla birlikte ciddi ekonomik kayıplara da neden olmaktadır. Sürdürülebilir tarım açısından azot kayıplarının anlaşılması ve azaltılmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Toprakta organik madde, mikroorganizmaların faaliyetleri sonucu bir dizi işleme uğramaktadır. Bitkiler azotu inorganik olarak NO_3^- ve NH_4 şeklinde alabilirler. Amonyum bazlı gübreler veya üre gibi N'lu gübreler toprağa uygulandıktan birkaç gün veya birkaç hafta içerisinde nitrifikasyon işlemi sonucunda nitrat formuna dönüşmektedir (Wu ve ark., 2017). Bitkiler tarafından alınmayan ve toprakta biriken nitrat, erozyon ve yıkanma ile yer altı ve yüzey su kaynakları için potansiyel kirletici olarak katkıda bulunabilir.

Toprak azot döngüsünde önemli yeri olan nitrifikasyon ve denitrifikasyon işlemleri aynı zamanda azotlu gaz kayıplarının da ana faktörlerinden biridir (Wu ve ark., 2018). Tarımsal alanlardan meydana gelen N_2O emisyonu küresel ölçekte değerlendirildiğinde N_2O emisyonun en büyük kaynağı olarak görülmektedir. N_2O gaz salınımı sadece uygulanan gübre etkinliğinin azalmasına değil ayrıca sera gazı etkisi

ve stratosferik ozon tabakasının tükenmesine sebep olduğu için konsantrasyonundaki artış ciddi sorun teşkil etmektedir (Senbayram, ve ark., 2019).

2.3. Toprak N_2O Emisyon Kaynakları

Tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan sera gazı, insan aktiviteleri sonucu oluşan sera gazının yaklaşık 1/5- 1/4'ünü oluşturmaktadır (IPCC 2019). Tarımsal faaliyetler (bitkisel ve hayvansal üretim) insan faaliyetlerinden kaynaklanan metan (CH_4) emisyonlarının %75, nitröz oksit (N_2O) emisyonlarının ise %50'sinden fazlasına katkı sağlamaktadır (FAO 2020).

Küresel ısınma potansiyeli, 100 yıllık bazda CO_2 göre 265 kat daha fazla olan N_2O en güçlü sera gazlarından biridir. Tarımsal faaliyetler sonucu oluşan N_2O emisyonları küresel ölçekte antropojenik N_2O emisyonlarının %59 karşılık gelmektedir (Senbayram, ve ark., 2018). Tarımsal alanlarda N_2O üretimi, esas olarak mikrobiyal nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçlerinin ara ürünüdür (Reddy and Crohn, 2014;,Wu ve ark., 2017;,Tubiello ve ark., 2021). Uygulanan azotlu gübreler ile nitrifikasyon ve denitrifkasyon işlemleri sonucunda azot kayıplarında artış meydana gelmektedir. Küresel ölçekte toprak kaynaklı denitrifikasyon işlemlerinin 2050 yılına kadar 14.2 Tg Nyr^{1} yükseleceği tahmin edilmektedir (Wu ve ark., 2017).

Breitenbeck ve ark., (1980) azotlu gübre uygulamalarından kaynaklanan N_2O emisyonun bir kısmının amonyumlu gübre veya amonyum oluşturan (üre vb) gübrelerin nitrifikasyonu sırasında mikroorganizmalar tarafından üretildiğini belirtmitir. Hahn and Junge 1977 ise toprağa uygulanan azotlu gübre uygulamasından sonraki 1-2 hafta içerisinde, N_2O'e dönüştürülen oranın, uygulanan gübrenin muhtemelen %3-12'i kadar olabilecegini rapor etmektedir.

Toprak azot uygulamalarında kullanılan gübre formu (amonyum, nitrat bazlı ve/veya üre) ve miktarı topraktan salınan azot gaz miktarı ve formunu etkileyebilmektedir (Harrison and Webb, 2001; Tenuta and Beauchamp, 2003; Bouwman ve ark., 2002; Schepers and Raun, 2008; Alexander, 1977). Uygulanan mineral N (NH_4 formunda) veya organik N'lu gübreler çoğu toprak özelliklerine veya çevresel koşullara bağlı olarak nitrifikasyon ile birkaç gün veya birkaç hafta içerisinde

NO_3^-'a dönüşmektedir (Senbayram, ve ark., 2018). Toprak nitrat konsantrasyonu, N_2O / (N_2O + N_2) ürün oranını kontrol eden ana parametrelerden biridir (Senbayram ve ark., 2018). Topraktan kaynaklan N_2O emisyonlarının, nitrifikasyon kaynaklı olduğu düşünülse de yapılan çalışmalarda N_2O emisyonun artışında denitrifkasyonun rolünün daha büyük olduğu belirtilmiştir (Senbayram ve ark., 2018; Breitenbeck ve ark., 1980).

Denitrifikasyon, NO_3^- ve NO_2^- 'nin NO_x, N_2O ve elementel N_2'ye indirgeme aşamalarını içerir. Denitrifkasyon hızına, toprak nem durumu, yarayışlı organik madde miktarı (yarayışlı C mevcudiyeti), pH ve NO_3^- konsantrasyonu ve tuzluluk gibi faktörler etki etmektedir (Wu ve ark., 2017). Bakteriyel denitrifikasyonun son ürünü N_2 iken, mantarların denitrifikasyon son ürünleri N_2O'dur. Denitrifkasyon yapan mantarlarda N_2O redüktaz enziminden yoksundur. N_2O-redüktaz enzimi, yaygın bakteriler tarafından üretilen ve N_2O'i elementel azota indirgeyebilen tek enzimdir (Qin ve ark., 2014). Faklı karasal sistemlerden yayılan N_2O emisyonun %40 ila %89'u oranlarında mantar kaynaklı olabileceği bildirilmiştir (Senbayram, ve ark., 2018).

Denitrifikasyona etki eden faktörler arasında toprağa organik madde ilave edilmesi veya OM konsantrasyonundaki artışlar mikrobiyal büyümeyi ve aktivesini uyarır. Oksijen tüketiminin teşvik edilmesi ile denitrifikasyon hızı ve miktarı artarak N_2O emisyonun da artmasına sebep olabilir (Reddy and Crohn, 2014; Senbayram ve ark., 2019).

2.4. Toprak Tuzluluğu ve N_2O İlişkisi

Dünya da tarımsal üretimi etkileyen unsurlar arasında toprak tuzluluğu büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Küresel olarak tuzlu topraklar toplam alanı 397 milyon hektardır (Mha) ve dünya kara alanın %3,1'ine karşılık gelmektedir (Mavi ve ark., 2012). Genellikle kurak ve yarı kurak alanlarda yer alan tuzlu topraklar, iklim değişikliği, deniz suyu girişi, aşırı sulama ve drenaj sorunu nedeniyle dünyanın çeşitli bölgelerinde kapladığı alan artmaktadır (Li ve ark., 2020). Tuzlarla arazi bozunumu, kurak ve yarı kurak bölgelerdeki düşük yağış ve yüksek buharlaşma potansiyeli ile toprak çözeltisindeki tuzların yukarıya doğru hareketini teşvik eder ve bu da toprağın kimyasal, fiziksel ve biyolojik özellikleri üzerinde olumsuz etkiler oluşturmasına

neden olur (Mavi, ve ark., 2012). Gelecekte insan popülasyonundaki artış ve iklim değişikliği, tuzlanmanın boyutunu ve kapsamını artıracağı öngörülmektedir (Setia ve ark, 2013). Artan tuzlu topraklar, tarımsal üretimi önemli derece de tehdit etmektedir. Toprak içerisinde biriken çözünebilir tuzlar beslenme dengesizliklerinin yanı sıra verimi de azaltır ve ayrıca toprak ozmotik potansiyeli üzerinde azaltıcı etkisi bulunmaktadır (Zhang ve ark., 2018; Inubushi ve ark., 1999).

Bitki kök bölgesinde tuzların birikmesi, toprak çözeltisinin ozmotik potansiyelini düşürmekte ve bu nedenle bitki su alımını zorlaştırmaktadır (Setia ve ark, 2013 ;,Mavi ve ark., 2012). Topraklarda tuz konsantrasyonun artışı sadece bitki büyümesini etkilemekle kalmaz, ayrıca toprak mikrobiyal biyokütlesinin büyüklüğünü ve aktivitesini ve toprak organik maddesi için gerekli biyokimyasal süreçleri de olumsuz etkiler. Örneğin bazı hassas mikroorganizmalar düşük ozmotik potansiyel de yaşama imkânı bulamazken bazıları suyu tutmak için bünyelerinde ozmolitleri biriktirerek tuzlu koşullara adapte olabilir (Mavi ve ark., 2012). Dolayısıyla topraklarda tuz birikiminin dolaylı olarak organik madde ayrışmasındaki rolü, tuz konsantrasyonun artmasıyla, mikroorganizmaların ozmotik potansiyelini azaltarak etkiler ve bu da aktivelerini azaltmasının yanı sıra mikrobiyal topluluğun bileşimini değiştirebilir (Setia ve ark., 2013).

Toprakta artan elektrolit konsantrasyonu organik maddenin killere bağlanmasında önemli rolü vardır. Dolayısıyla tuzdan etkilenmiş ve yüksek kil içeriğine sahip topraklarda, artan elektrolit konsantrasyonu, organik maddeye mikroorganizmaların daha az ulaşabilir olmasına neden olacaktır (Mavi ve ark., 2012).

Tarımsal faaliyetlerle, toprağa artan miktarlarda azot girişi, toprak mikrobiyal biokütlesini ve enzim aktivelerini etkilediği bilinmektedir. Toprak organik maddesinin ayrışmasına, dönüştürülmesine ve mineralleşmesinde rol oynayan aynı zamanda besin döngüsünde yer alan toprak hidrolitik enzimleri çok önemli bir yere sahiptir. Toprak enzim aktiviteleri abiyotik faktörlere (toprak sıcaklığı, toprak su içeriği ve pH vb.) bağlı olmasının yanı sıra enzim aktivelerini etkileyen ana biyolojik süreçler yerel substrat konsantrayonlarına bağlı olarak yönetilen enzim sentezi ve salgılanmasıdır (Shi ve ark., 2018). Bununla birlikte artan N'lu gübrelemelerin toprak mikrobiyal

biyokütlesini ve enzim aktivitelerini etkilediği tespit edilmiştir (Shi ve ark., 2018). Uygulanan N gübre miktarları ve türlerine bağlı olarak artan NO_3-N birikiminin mikrobiyal gruplar üzerinde zararlı etkisi olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle toprak mikrobiyal biyokütlesini ve hidrolitik enzim aktivitelerini azaltıcı etkisi bulunmaktadır (Shi ve ark., 2018).

Toprak tuzluluğu, toprak N kayıpları üzerinde etkileri bulunmaktadır. Özellikle nitrifikasyon sürecini önemli ölçüde etkilemesi sonucu amonyak (NH_3) buharlaşmasını teşvik etmesinin yanı sıra hem küresel ısınmaya hem de ozonun incelmesine katkıda bulunan güçlü bir gaz olan nitröz oksit (N_2O) emisyonunu etkilemektedir (Reddy ve Crohn, 2014; Li ve ark., 2020).

Topraklarda artan tuzluluğun üre hidrolizi, nitrifikasyon ve amonyum absorbsiyonu üzerinde olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir. Artan tuzluluk oranlarının üreaz aktivitesini ve nitrifikasyon üzerindeki inhibe edici etkisinden kaynaklı üre hidroliz oranını azaltması sonucu amonyak (NH_3) buharlaşması ve N_2O emisyonu şeklinde azot kayıplarının oranını arttırmaktadır. Tuzluluk artışı nitrifikasyonun yavaşlamasına sebep olarak topraklarda amonyum birikimine neden olabilir (Zhang ve ark., 2018; Li ve ark., 2020).

Toprak N_2O emisyonu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçlerinin ara ürünleridir. Artan tuzluluğun nitrifikasyon süreçlerine etkisine ek olarak N_2O-redüktaz enzim aktivitesini yavaşlattığı ve N_2O emisyon oranını arttırabildiği belirtilmiştir (Mavi ve ark., 2012).

2.5. Nitrat İyonu Seçici Elektrot

Azot, toprak canlıları ve bitkiler için en çok talep birincil besin maddesidir. Toprak mikrobiyal dönüşümleri sonucunda N döngüsü, birkaç N azot formuyla sonuçlanır. Nitrat, azot döngüsünün yarı veya son noktası olabilmektedir ve tarım ve çevre yönetiminde en önemli faktörlerden biridir. Nitrat, bitkiler tarafından en çok kullanılan N formu olmakla birlikte yıkanmaya karşı hassastır ve bazı toprak tiplerinden yıkanabilir (Yang ve ark., 1998). Nitrat konsantrasyonun, içme suyu, nehirler ve göllerde artması ile su kirliliği (ötrofikasyon), sağlık sorunları (bebek ve

hayvan methemoglobinemisi) ve kanserojen nitrozamin oluşumu neden olduğu bilinmektedir (Yang ve ark., 1998; Thottan ve ark., 1994).

Tarımsal üretimde yüksek verim amacıyla artan azotlu gübre uygulamalarıyla artan nitrat girdisi, gübre etkinliğinin arttırılması ve çevresel etkilerinin azaltılması için topraklardaki besin seviyelerinin izlenmesi gereklidir (Kim ve ark., 2007). Azotlu gübre önerileri ile daha verimli azot yönetimi yapılabilir. Yapılan çalışmalarda toprağın üst 30 cm'sindeki nitrat konsantrasyonu, büyüyen bitkilerin ilave N gübresine tepki verip vermeyeceğinin iyi bir göstergesidir. Dolayısıyla tarım alanlarında nitrat miktarının izlenmesi sadece bitkinin ihtiyaç duyduğu miktarın uygulanmasını sağlayacaktır (Thottan ve ark., 1994).

Nitrat analizlerinde kullanılan spektrofotometri, HPLC ve iyon kromatografisi gibi laboratuvar tipi enstrümantal analiz yöntemlerinin arazide kullanılamaz ve bu ekipmanlar pahalı ve kalifiye personel gerektirir. Bununla birlikte, sahadaki toprak örneklemesini ve laboratuvardaki kimyasal analizi birleştiren geleneksel toprak test yöntemleri maliyetli ve zaman alıcıdır, bu nedenle sahada analiz edilen örnek sayısını sınırlandırır ve topraktaki besin konsantrasyonları mekansal değişkenliği karakterize etmeyi zorlaştırır (Kim ve ark., 2007). Son yıllarda artan teknoloji ile analitik kimya alanında çeşitli iyon seçici membranların geliştirilmesinde önemli ilerleme kaydedilmiştir, şu anda NO_3^-, K, Na ve Ca dahil olmak üzere önemli toprak besinlerinin çoğu için iyon seçici membranlar bulunmaktadır (Kim ve ark., 2007).

İyon seçici elektrotlar, basit yapı şekilleri ve iyi işlevsellikleri ve düşük maliyet (laboratuvar analizine örnek başı maliyetine kıyasla) nedeniyle potansiyometrik iyon analizi için sahada avantajlı bir şekilde kullanılabilir. İyon seçici elektrotlar, analitik bakış açısından bakıldığında çözeltideki bir iyonun kimyasal aktivitesini, Nernst denklemini izleyen bir voltmetre ile ölçülebilen bir elektrik potansiyeline dönüştüren elektro analitik sensörlerdir (Gioia ve ark., 2010). İyon seçici elektrotları geliştirmek ve uygunluğunu test etmek amacıyla birçok çalışmacı tarafından bitki materyalinde ve tuzlu olmayan topraklarda ve sularda nitratın hızlı bir şekilde belirlenmesinde kullanılmaktadır ve yapılan çalışmalarda laboratuvar yöntemleriyle uyumlulukları belirtilmiştir (Wilhelm ve ark., 2000; Paul and Carlson, 1968; Onken and Sunderman, 1970; Myers and Paul 1968; Milham ve ark., 1970; Thottan ve ark., 1994).

Nitrat iyonu seçici elektrot ile ölçümlerde, elektrot potansiyelinde meydana gelen sapmalardan dolayı, yanıt kararlılığı ve tekrarlanabilirlik açısından tartışmalı durumlar bildirilmektedir (Kim ve ark., 2007). Bir diğer önemli konu ise, çözeltilerin elektrolitik bağlamda nötral olmasına karşın, toprak gibi heterojen ortamlarda, iyon seçici elektrotların ölçümlerini (nitrat iyonun aktivitesini etkileyebilecek) katyonlar ve / veya anyonlar bulunması durumudur (Gioia, ve ark., 2010;, Paul and Carlson, 1968;, Milham ve ark., 1970).

Bitki, toprak ve sularda bulunan başat anyonlar klorür, hidrojen karbonat, nitrat, sülfat ve fosfattır. Bu anyonların aşırılıkları nitrat ölçümlerinde interferens oluşturabilir. Bu bağlamda normal koşullarda toprak ve bitkide sülfat ve fosfat konsantrasyonun düşük olması nedeni ile,nitrat ölçümlerinde interferens oluşturması beklenmemektedir. Bazı araştırıcılar, Cl^- ve HCO_3^- anyonlarının, nitrat iyonu seçici elektrot ile ölçümlerde daha fazla interferense yol açabileceklerini belirtmektedirler (Gioia, ve ark., 2010;, Myers and Paul 1968;, Thottan ve ark., 1994).

Bazı toprak ekstraktlarının, yüksek konsantrasyonlarda interferens yapan iyonlar veya tuz içerebileceği ve klasik prosedürlü nitrat selektif elektrodu ile yapılan ölçümlerde hatalı sonuçlar elde edilebileceği belirtilmektedir. Bu çerçevede, klasik prosedürle rutin, hızlı, doğru ve tekrarlanabilir nitrat tayinleri yapılabileceği çok sayıda toprak bulunmaktadır (Onken and Sunderman, 1970;, Tuli ve ark., 2009).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Denemenin kurulduğu yer ve tarih

Çalışma Harran Üniversitesi, Ziraat fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü bünyesinde kurulmuş olan Akıllı Tarım Toprak/Bitki Analiz Laboratuvarında robotik sürekli akım toprak-denitrifikasyon inkübasyon sisteminde gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar koşullarında yürütülen çalışma, 10.02.2021–01.03.2021 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir.

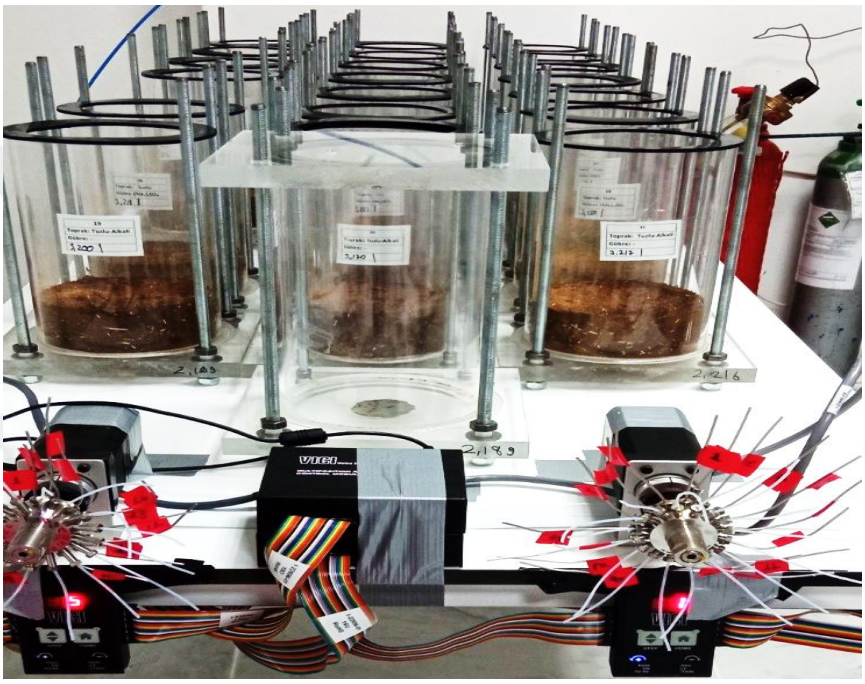
3.1.2. Deneme materyali (toprak):

Yapılan çalışmada kullanılan kontrol örnekleri, Harran üniversitesi Osmanbey yerleşkesinde bulunan tarım arazilerinde mısır yetiştiriciliği yapılan alandan (pH: 8,29 EC:1,089 dS/cm) alındı. Denemede kullanılan tuzlu toprak örnekleri (pH:8,15 EC: 6,17 dS/cm) ise Şanlıurfa ili Harran ilçesinin Bozyazı köyü tarım alanlarından alınmıştır. Toprak örneklemesi toprak katmanının ilk 0-10 cm derinliğinden alınmıştır. Oda sıcaklığında kurutulan topraklar 2 mm toprak eleği ile elenerek homojen hale getirilmiş ve daha sonra 20 °C'de saklanmıştır. Denemede kullanılan buğday anızı Harran üniversitesi tarım alanından alınmıştır. Alınan toprak ve buğday anızı (1 g anız kg^{-1} toprak) ile homojen olarak karıştırılmıştır.

3.1.3. Robotik sürekli akım toprak-denitrifikasyon inkübasyon sistemi

Harran Üniversitesi, Bitki Besleme ve Toprak Bölümü bünyesinde bulunan Akıllı Tarım Toprak/Bitki Analiz Laboratuvarında robotik sürekli akım toprak-denitrifikasyon inkübasyon sistemi kullanılarak inkübasyon denemesi kurulmuştur. Deneme de kullanılan inkübasyon çemberleri, şeffaf pleksiglas maddeden yapılmış olup çapı 140 mm ve yüksekliği 200 mm'dir (Şekil 3.1). Denemede 3 konuya i.

Kontrol (Gübre Uygulaması yapılmamış) ii.Potasyum-Nitrat Uygulaması iii. Amonyum Sülfat Uygulaması yer verilmiş ve bu şekilde 2 toprak tipi için 6 uygulama yapılmıştır; 1) gübrelenmemiş tuzsuz toprak (TC), 2) potasyum-nitrat uygulanmış tuzsuz toprak (TN), 3) amonyum-sülfat uygulanmış tuzsuz toprak (TS), 4) gübrelenmemiş tuzlu toprak (AC), 5) potasyum-nitrat uygulanmış tuzlu toprak (AN), 6) amonyum-sülfat uygulanmış tuzlu toprak (AS). Uygulamalar 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Bu şekilde 3 Uygulama x 2 toprak tipi x 3 tekerrür olmak üzere toplamda 18 inkübasyon çemberi kullanılmıştır (Tablo 1).



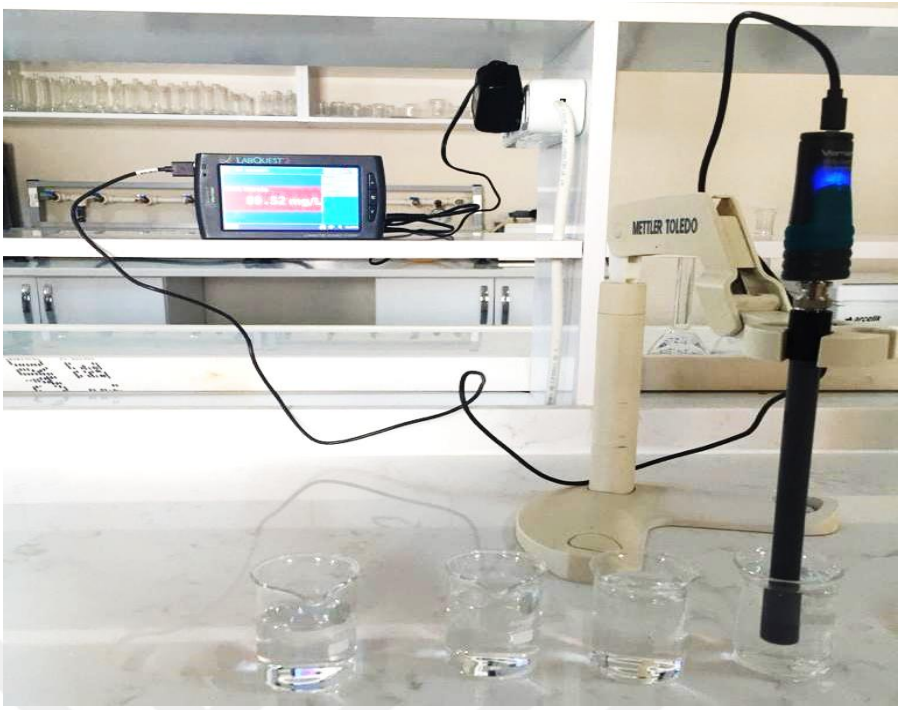
Şekil 3.1. Laboratuvar koşullarında kurulan inkubasyon sistemi

Çizelge 3. 1. İnkübasyon denemesinde kullanılan uygulamalar ve her bir uygulamada bulunan azot kaynağı ve miktarı.

Uygulama No:	Simge	Toprak	Azot Formu	Azot Dozu
1	**TC**	Tuzsuz Toprak	Yok	-
2	**TN**	Tuzsuz Toprak	Potasyum Nitrat	508 mg gübre kg toprak^{-1} (15 kg N da^{-1})
3	**TS**	Tuzsuz Toprak	Amonyum Sülfat	314 mg gübre kg toprak^{-1} (15 kg N da^{1})
4	**AC**	Tuzlu Toprak	Yok	-
5	**AN**	Tuzlu Toprak	Potasyum Nitrat	508 mg gübre kg toprak^{-1} (15 kg N da^{-1})
6	**AS**	Tuzlu Toprak	Amonyum Sülfat	314 mg gübre kg toprak^{-1} (15 kg N da^{-1})

3.1.4. Çalışmada kullanılan nitrat iyon seçici elektrot ve özellikleri

Kurulan denemede Vernier (USA) nitrat sensörü kullanılmıştır (şekil 3.2) Nitrat iyon seçici elektrot temel olarak nitrat iyonlarının belirlenmesinde kullanılır. Analitik bakış açısından, iyon seçici elektrotlar, toprak veya sulu çözelti içeresindeki bir iyonun kimyasal aktivitesini, Nernst denklemini izleyen bir voltmetre ile ölçülebilen elektrik potansiyeline dönüştüren elektroanalitik sensörlerdir (Gioia, ve ark., 2010). Laboratuvar koşullarında kullanılan toprak nitrat tayin yöntemlerine hızlı ve güvenilir bir alternatif olarak kullanılabilmektedir (Myers and Paul, 1968;, Mack ve Sanderson, 1971).



Şekil 3.2. Toprak örneklerinde NO_3^- içeriklerinin belirlenmesinde kullanılan nitrat sensorü

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneme kurulumu ve hazırlık aşaması

İnkübasyon denemesi kurulumunda önceden hazırlanan homojen toprak ve buğday anız karışımı inkübasyon çemberlerine koyulduktan sonra yoğunluğu 1.3 g cm^{-3} ve toprak nemi %75 su tutma kapasitesine gelecek şekilde sulanmıştır (Senbayram ve ark., 2018). Daha sonra inkübasyon çemberlerine Tablo 1.'de belirtilen form ve dozda gübre toprak yüzeyine uygulanmış olup kontrol toprağı da dahil olmak üzere saf su uygulaması (50 ml) yapılmıştır. Uygulama yapılmasından sonra inkübasyon çemberlerinin kapağı gaz geçirimsiz olacak kapatılmış ve hava akımı her bir çemberde 20 ml $dakika^{-1}$ olacak şekilde kompresör (normal hava) yardımı ile ayarlanmıştır. Her bir inkübasyon çemberinden çıkan hava iki adet çok pozisyonlu VICI-VALCO (Houston, Amerika) seçici valf yardımı ile tek tek aynı laboratuvarda bulunan gaz kromatografi (SRI-8610-0040 Greenhouse Gas GC System, Amerika) cihazına aktarılmıştır.

3.2.2. Deneme yapılan analizler

Deneme kurulumu gerçekleştikten sonra her inkübasyon çemberin gaz çıkışı iki adet çok pozisyonlu VICI-VALCO (Houston, Amerika) seçici valf yardımı ile laboratuvarda bulunan gaz kromatografi (SRI-8610-0040 Greenhouse Gas GC System, Amerika) cihazına otomatik olarak yönlendirilmiştir. Her bir çemberden çıkan ve giren gaz akıları N_2O konsantrasyonu cihazda bulunan elektron yakalayıcısı detektörü ile (ECD) ölçülmüş ve her bir çember için emisyon miktarları alan (g N $dekar^{-1}$) ve toprak (g N kg^{-1} toprak) bazında hesaplanmıştır.

Kurulan inkübasyon denemesi nitrat analizleri için deneme öncesi ve sonrasında alınmıştır ve buna ek olarak laboratuvar koşullarında yapılan paralel uygulama deneme süresince (7. 13. 17. Gün) toprak örnekleri alınarak toprak NO_3^- içerikleri Yang ve ark., (1998) tarafından belirtilen yöntem ile analiz yapılmıştır. Kısaca, toprak örnekleri (1/4) oranında deiyonize su kullanılarak 30 dk çalkalandı ve daha sonra whatman no:1 filtre kâğıdı kullanılarak toprak süzükleri alınmıştır. Alınan toprak süzüklerinden 1 ml alınıp üzerine 0.5 ml TRI çözeltisi eklenerek çalkalanıp sıcak yüzey üzerinde tamamen kurutulmuştur. Kuruyan örnekler biraz soğuduktan sonra 1 ml konsantre H_2SO_4 ile çözdürülmüştür. Çözülen örneklerin soğumasından sonra üzerine 5 ml saf su eklenmiş ve soğuduktan sonra üzerine %40'lık NaOH eklenmiştir. Hazırlanan örnek çözeltileri spektrofotometrede 410 nm dalga boyundaki absorbsiyon okutularak içerisindeki NO_3^- miktarı hesaplanmıştır.

Deneme de kurulum amaçlarından biri olan yöntem karşılaştırılmasında nitrat iyon seçici elektrot okuması yapılmıştır. Her bir inkübasyon çemberinden alınan toprak örnekleri deiyonize su kullanılarak (1/4 g/g) oranında 30 dk çalkalandı ve daha sonra Whatman no:1 filtre kâğıdı kullanılarak toprak süzükleri alınmıştır. Alınan toprak çözeltilerine doğrudan sensor probu daldırılarak okuma yapıldı. Nitrat sensor ara yüzünde çözelti içerindeki probdan aktarılan değerler mg/L olarak okunmuştur (Şekil 3.2).

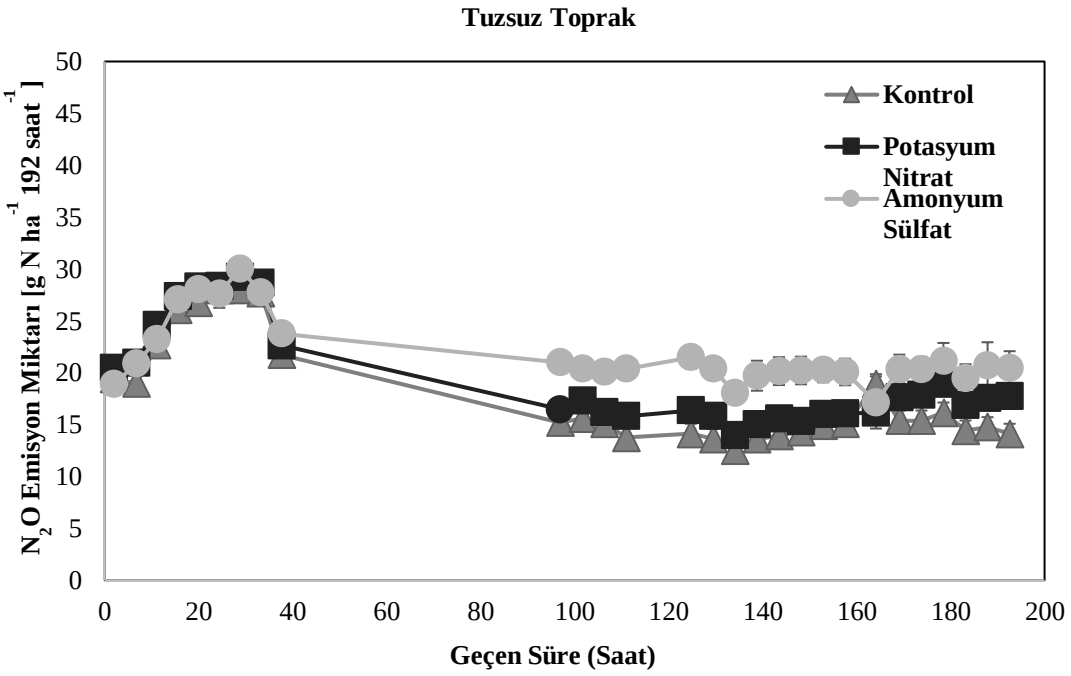
3.2.3. Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi

Kurulan deneme de yapılan analizler ve ölçüm sonuçları ortalamaları ve standart hata değerleri belirtilmiş olup grafikler üzerinde gösterilmiştir. Toprak N_2O ve NO_3^- emisyonuna ilişkin veriler SPSS v.14 istatistik programı ile analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonuçları (P=0.01) Tukey testi ile karşılaştırılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

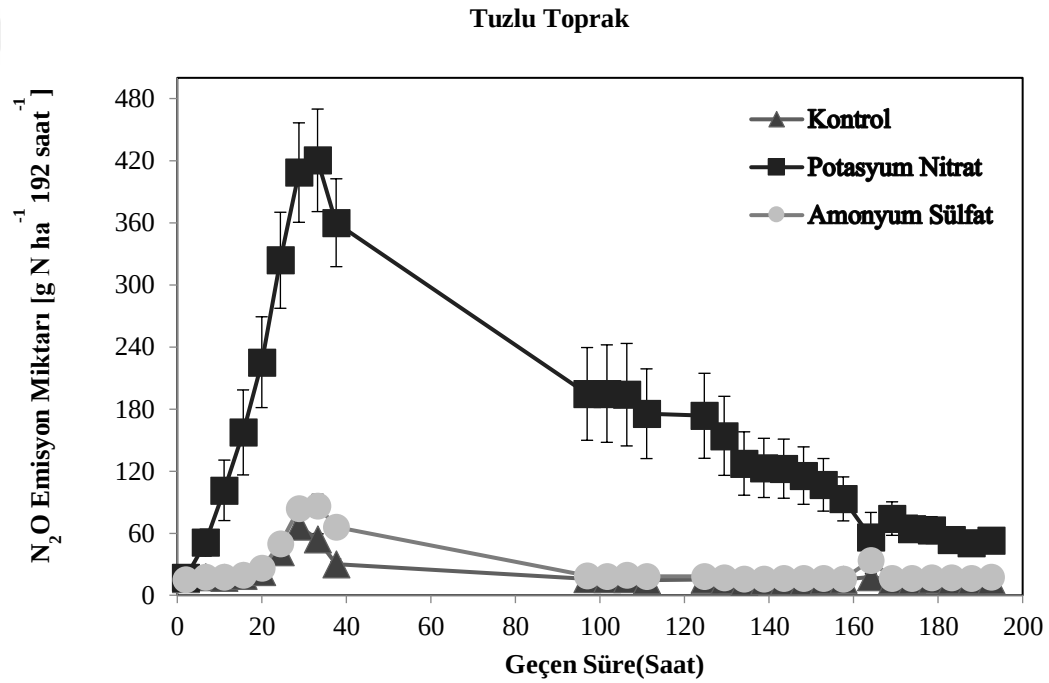
4.1. Araştırma Bulguları

Toprak tuzluluğunun N_2O emisyonuna etkisini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada emisyon oranlarının, tüm uygulamalarda artış gösterdiği daha sonra azalarak sabit kaldığı görülmüştür (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2). Tuzsuz topraklarda deneme süresince tüm uygulamalarda benzer N_2O salınım eğrisi oluşmuştur. Deneme başlangıcından itibaren TC uygulaması ile neredeyse hiç fark bulunmayan TN ve TS uygulamaları en yüksek N_2O pikini 29 saat sonra (Kontrol 28±0,90 potasyum nitrat 29±0,36 amonyum sülfat 30±0,3 g N ha^{-1} $gün^{-1}$) oluşturmuştur. Denemenin 30. saatine kadar her üç uygulama arasında fark görülmemiştir. İnkübasyon denemesinin 37. saatinden itibaren her 3 uygulama da azalma gözlemlenmiş, TS uygulamasındaki azalmanın ise diğer iki uygulamaya göre daha yavaş olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.1).



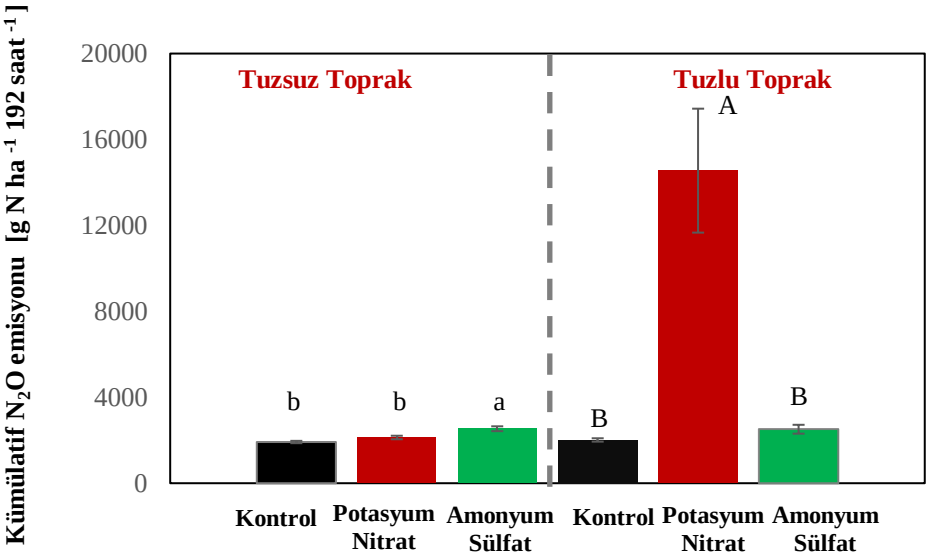
Şekil 4.1. İnkübasyon denemesi süresince Kontrol (TC) (gübresiz); Potasyum-nitrat uygulanmış (TN), Amonyum-sülfat uygulanmış (TS), tuzsuz topraklarda tüm deneme boyunca meydana gelen saatlik N_2O salınımı (n = 3). Bazı durumlarda hata çubukları sembollerden daha küçüktür.

Tuzlu toprak N_2O emisyon oranları TN, TC ve TS'ye uygulamalarına göre yaklaşık 7 kat artmıştır (Şekil 4. 2). Tuzlu topraklarda, AN uygulamaları, AC uygulamalarına göre N_2O emisyon oranı deneme sürecinin başlangıcından itibaren hızlı bir şekilde artmasına neden olurken, AS uygulaması AC uygulamalarına benzer N_2O emisyon salınımı eğrisi oluşturmuş ve deneme süresince ilk 25. ile 100. saatler arasında AC uygulamasına kıyasla N_2O emisyon oranında artış gerçekleşmiştir. Tuzlu topraklardan AN uygulaması N_2O emisyon oranı deneme sürecinde en yüksek değere 33. saatte ulaşmış (420±50 g N ha^{-1} $gün^{-1}$) daha sonra deneme süresince azalmıştır.



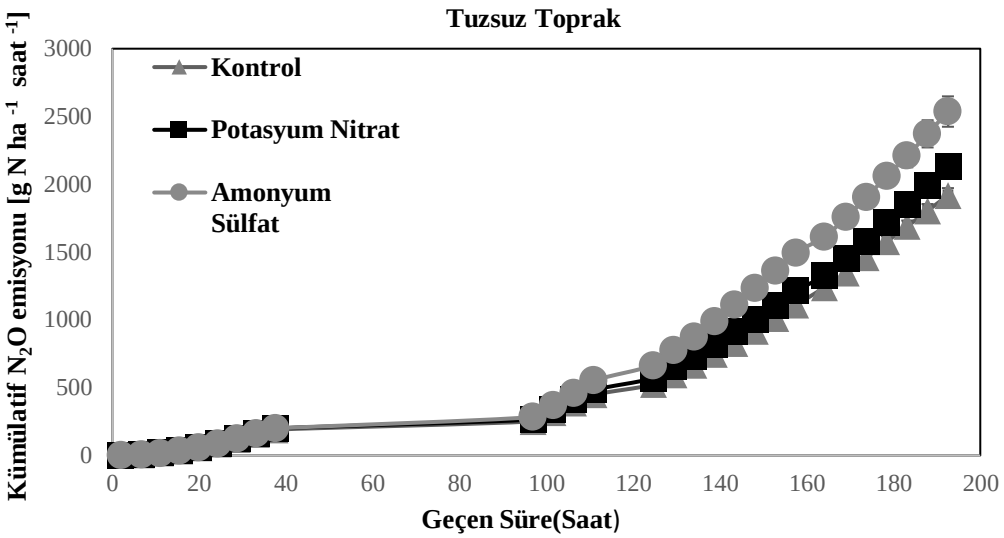
Şekil 4.2. İnkübasyon denemesi süresince Kontrol (AC) (gübresiz); Potasyum-nitrat uygulanmış (AN), Amonyum-sülfat uygulanmış (AS), tuzlu topraklarda tüm deneme boyunca meydana gelen saatlik N_2O salınımı (n = 3). Bazı durumlarda hata çubukları sembollerden daha küçüktür.

Yapılan çalışmada meydana gelen kümülatif N_2O emisyon oranları deneme süresince incelendiğinde, TC ve AC uygulamaları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır. Tuzlu toprak uygulamalarında meydan gelen kümülatif N_2O emisyon AC uygulamasına göre AN uygulamasında 7 kat artış göstermiştir (Şekil 4.3).



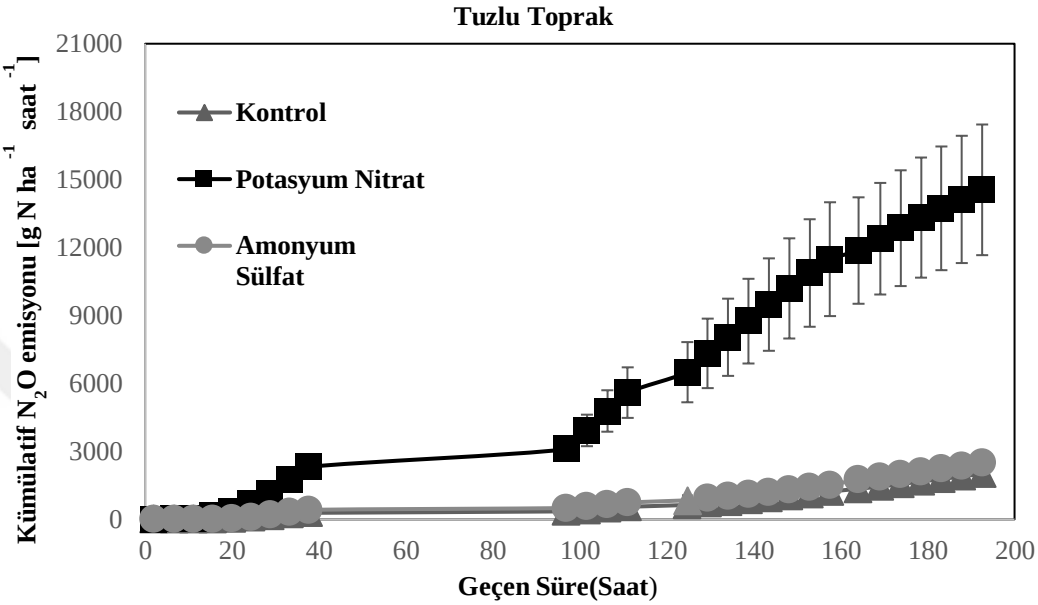
Şekil 4.3. İnkübasyon denemesi süresince Kontrol (TC = tuzsuz toprak gübresiz); Potasyum-nitrat uygulanmış (TN = tuzsuz toprak), Amonyum-sülfat uygulanmış (TS = tuzsuz toprak), Kontrol (AC= tuzlu toprak gübresiz); Potasyum-nitrat uygulanmış (AN = tuzlu toprak), Amonyum-sülfat uygulanmış (AS = tuzlu toprak) topraklarda tüm deneme boyunca meydana gelen kümülatif N_2O salınımı (n = 3).

Tuzsuz toprak uygulamalarında belirlenen kümülatif N_2O emisyon oranları incelendiğinde, TC uygulamalarına kıyasla TN uygulamasında önemli fark bulunmazken, TS uygulamasında önemli artış gözlenmiştir (Şekil 4.4).



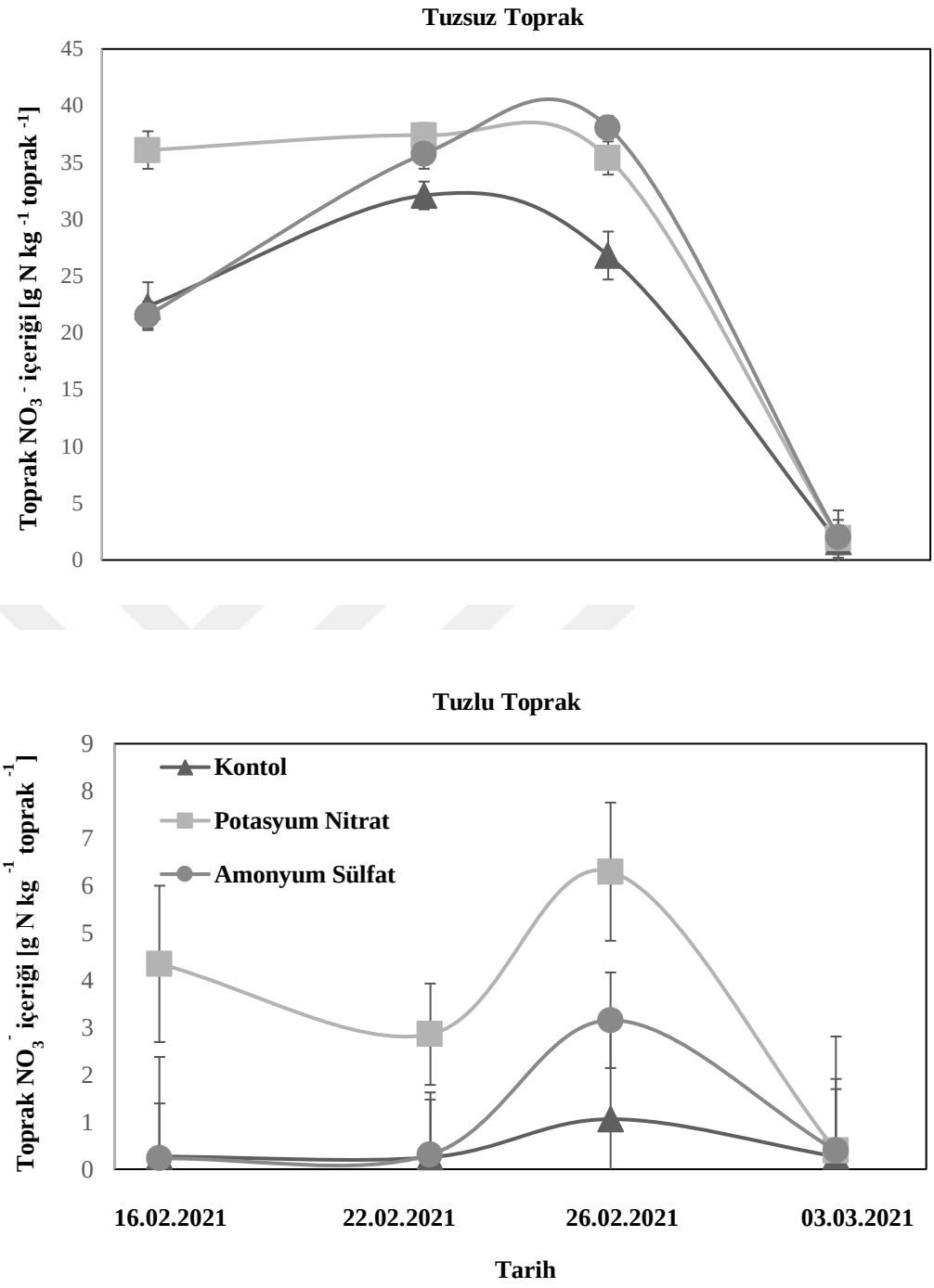
Şekil 4.4. İnkübasyon denemesi süresince Kontrol (TC)(gübresiz); Potasyum-nitrat uygulanmış (TN), Amonyum-sülfat uygulanmış (TS), tuzsuz topraklarda tüm deneme boyunca meydana gelen kümülatif N_2O salınımı (n = 3). Bazı durumlarda hata çubukları sembollerden daha küçüktür

Tuzlu toprak uygulamalarında ise, kümülatif N_2O emisyon miktarı her iki gübre uygulamasında AC uygulamasına kıyasla daha fazla artmıştır. Kümülatif N_2O emisyon değerleri, AC uygulamasında en düşük bulunurken AN uygulamasında ise en yüksek bulunmuştur.



Şekil 4.5. İnkübasyon denemesi süresince Kontrol (AC) (gübresiz); Potasyum-nitrat uygulanmış (AN), Amonyum-sülfat uygulanmış (AS), tuzlu topraklarda tüm deneme boyunca meydana gelen kümülatif N_2O salınımı (n = 3). Bazı durumlarda hata çubukları sembollerden daha küçüktür.

Deneme süresince tüm uygulamalar da toprak NO_3^- konsantrasyonlarının deneme sonuna doğru düştüğü gözlenmiştir. Deneme süresince incelenen toprak NO_3^- konsantrasyonları, TC uygulamaları ve TS uygulamaları deneme başlangıcında 20 mg N kg^{-1} toprak seviyelerinde benzerlik gösterirken deneme süresince kontrol toprağına kıyasla TS uygulamasında daha yüksek toprak NO_3^- konsantrasyonları gözlenmiştir. TC uygulamalarına kıyasla her iki gübre uygulaması yapılan topraklarda NO_3^- konsantrasyonları daha yüksek bulunmuştur. TN uygulaması deneme başlangıcında TC ve TS uygulamasına göre daha yüksek toprak NO_3^- konsantrasyonları sahipken, denemenin 13. gününden sonra kademeli olarak azalmıştır. Bunun yanı sıra TN uygulamaları ve TS uygulamaları toprak NO_3^- konsantrasyonları deneme başlangıcında önemli derecede farklı bulunurken denemenin sonunda istatistiki açıdan farklı bulunmamıştır (Şekil 4.6).



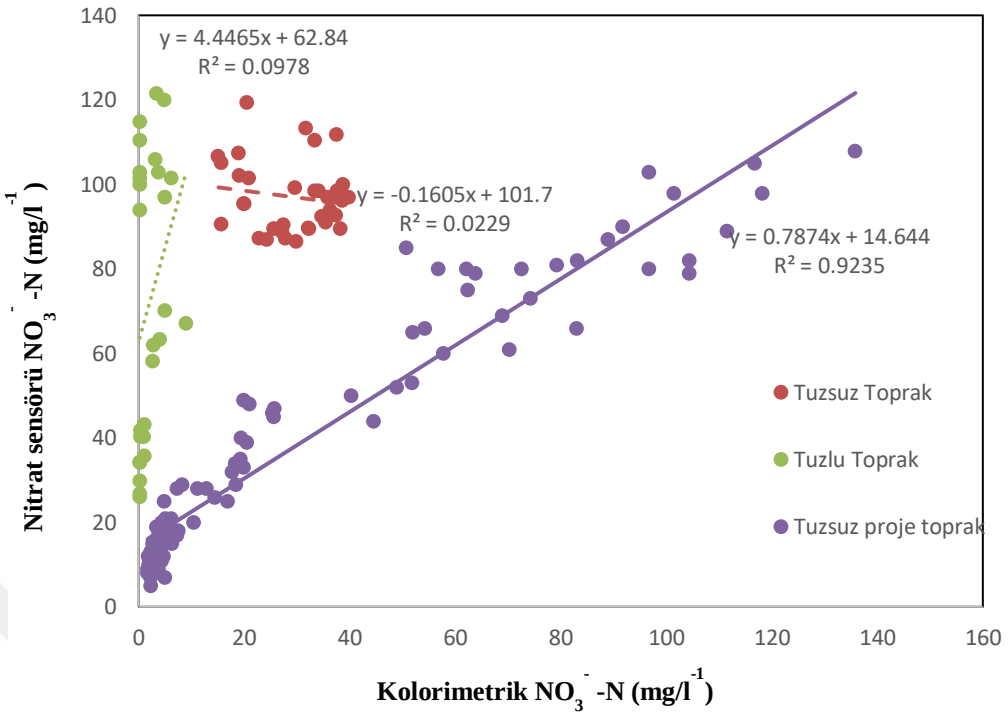
Şekil 4.6. İnkübasyon denemesi süresince ölçülen tuzsuz ve tuzlu toprak nitrat (NO_3^-) konsantrasyonları (mg N kg^{-1} toprak) Kontrol (TC = tuzsuz toprak gübresiz); Potasyum-nitrat uygulanmış (TN = tuzsuz toprak), Amonyum-sülfat uygulanmış (TS = tuzsuz toprak), Kontrol (AC= tuzlu toprak gübresiz); Potasyum-nitrat uygulanmış (AN = tuzlu toprak), Amonyum-sülfat uygulanmış (AS = tuzlu toprak) (n = 3).

Deneme süresince tuzlu topraklarda toprak NO_3^- konsantrasyonları, AN uygulamasına kıyasla AC ve AS uygulamalarında daha yüksek bulunmuştur. Deneme başlangıcında AC ve AS uygulaması denemenin 13. gününe kadar benzer NO_3^- konsantrasyonu gösterirken daha sonra AC uygulamasına göre AS uygulaması hızlı bir şekilde artış gösterdi ve denemenin sonuna doğru tekrar azaldı. Deneme süresince en yüksek toprak NO_3^- konsantrasyonları, AN uygulamasında gözlemlenmiştir. Deneme süresince AN hem AC uygulamasına hem de AS uygulamalarına göre önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur (Şekil 4.6).

Çizelge 4. 1. Farklı uygulamalara bağlı olarak toprakta nitrat içeriği ve deneme süresince meydana gelen toplam N_2O salınımı.

Uygulamalar	Kümülatif N_2O [mg N kg^{-1} toprak]	Toprak Nitrat Miktarı [mg N kg^{-1} toprak]			
		16.02.2021	22.02.2021	26.02.2021	03.03.2021
TC	1918±54^{b}	22,4±2,1^{B}	32,1±1,2^{B}	26,8±2,1^{B}	1,6±1,4^{B}
TN	2128±82^{b}	36,1±1,7^{A}	37,4±1,1^{A}	35,4±1,5^{A}	2,0±2,4^{A}
TS	2536±112^{a}	21,6±1,2^{B}	35,8±1,3^{AB}	38,1±1^{A}	2,0±1,5^{A}
AC	2014±79^{B}	0,3±0^{b}	0,3±0^{a}	1,1±1^{b}	0,3±1,1^{b}
AN	14549±2884^{A}	4,3±0,9^{a}	2,9±1,3^{a}	6,3±0^{a}	0,4±1,6^{a}
AS	2513±206^{B}	0,2±0^{b}	0,3±0,1^{a}	3,2±0,4^{ab}	0,4±0,4^{a}

Farklı toprak türlerinde nitrat sensör kullanımının uygunluğunu test etmek amacıyla yapılan analizler sonucunda, inkübasyon denemesi öncesinde yapılan tuzsuz proje toprakları ön çalışmasında nitrat sensorü ve kolorimetrik analiz sonuçlarının yüksek korelasyon (R^2=0,9235) gösterdiği bulunmuştur. İnkübasyon denemesi süresince alınan toprak örneklerinin NO_3^- konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla laboratuvar ve nitrat iyon seçici elektrot değerleri karşılaştırılması sonucunda her iki toprak türünde de büyük farklılıklar gözlenmiştir. Tuzsuz toprak uygulamaları (R^2=0,0229) ve tuzlu toprak (R^2=0,0978) uygulamaları arasında sensor okumaları fark olmasına rağmen her iki toprak uygulamalarında laboratuvar koşullarıyla kıyasladığında önemli ölçüde fark bulunmaktadır.



Şekil 4.7. Proje tuzsuz toprak (ön çalışma), tuzlu toprak ve tuzsuz toprak NO_3^- içeriklerinin farklı yöntemlerle karşılaştırılması. Kolorimetrik NO_3^- analiz metodu ve nitrat seçici elektrot metodu

4.2. Tartışma

Bu çalışmada farklı tuz içeriklerine sahip topraklarda anız ve farklı azotlu gübre (Potasyum-nitrat ve Amonyum-sülfat) uygulamalarının N_2O emisyonuna etkisi incelendiğinde, her iki toprak türünde de gübre uygulamalarının N_2O emisyonunda artışa neden olduğu görülmektedir. N_2O emisyonunun ana kaynağının nitrifikasyon ve denitrifikasyon olduğu kabul görmektedir (Li ve ark., 2020). Toprağa N ilavesi nitirifikasyonu ve denitrfikasyonu teşvik etmektedir (Köbke ve ark., 2018). Ancak denememizde denitrfikasyonun, N_2O emisyonun tuzlu topraklarda birincil kaynağı olduğunu düşünülmektedir. Senbayram ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada denitrfikasyonun N_2O emisyonunun ana kaynağı olduğu belirtilmektedir. Denitrifikasyon, genellikle nitrat ve organik C'nun mevcut olduğu, oksijenin sınırlı olduğu ve yüksek nem koşullarında teşvik edildiği bilinmektedir. İnkübasyon

topraklarına buğday anızı eklenmesi, N ilavesi ve %75 su tutma seviyesinde tutulmasının N_2O emisyonunu ve denitrifikasyonu teşvik ettiği düşünülmektedir. Toprak NO_3^- içeriği ve karbon (C) mevcudiyeti denitrifikasyon oranını düzenleyen en önemli unsurlardır (Senbayram ve ark.,2018). Toprak denitrifikasyon kaynaklı N_2O emisyonun genellikle toprak su tutma seviyesi> %60 olduğunda meydana geldiği daha önce rapor edilmiştir (Miller ve ark., 2008; Meng ve ark., 2020).

Tuzsuz toprak kümülatif N_2O emisyonlarına bakıldığında, kontrol uygulamasına göre potasyum nitrat uygulaması %11 artmışken, amonyum sülfat uygulamasında ise %32'lik bir artış meydana gelmiştir. Tuzsuz ve tuzlu toprak uygulama topraklarında zamana bağlı N_2O emisyonu izlendiğinde başlangıçta düşük sonra artmış ve daha sonra azalmıştır. Tuzsuz toprak uygulamalarında deneme başlangıcında meydana gelen N_2O emisyonlarında 40. saate kadar nitrifikasyonun baskın olduğu ve daha sonra deneme süresince azalan nitrat konsantrasyonlarında görülen azalmaya bağlı olarak denitrifikasyon kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Azam ve ark. (2002) tarafından yapılan çalışma sonuçlarımızla benzerlik göstermektedir. N_2O emisyonun artışında mevcut C'nun, mikrobiyal aktivite ve O_2 tüketiminin artmasına bağlı olduğu belirtilmektedir (Azam ve ark. 2002; Miller ve ark., 2008). Tuzsuz toprak uygulamalarında zamana bağlı N_2O emisyonu incelendiğinde, amonyum sülfat uygulamasının kontrol ve potasyum nitrat uygulamalarına göre daha fazla arttığı görülmüştür. Bunun sebebinin nitrifikasyon kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Deneme başlangıcında nitrifikasyonun gerçekleşmesiyle amonyum sülfat uygulamalarında toprak NO_3^- içeriğinde meydan gelen artışın denitrifikasyonu da arttırdığı da düşünülmektedir. Toprak nitrat miktarı, denitrifikasyon N_2O/ (N_2O +N_2) ürün oranını doğrudan düzenleyen ana faktördür (Senbayram ve ark., 2012). Toprak organik karbon ve nitrat ilavesinin N_2O emisyonunu önemli derecede arttırdığı ve bu artışın önemli bir kısmının mantari N_2O emisyondan kaynaklandığı belirtilmiştir. Mantarlar N_2O redüktaz enziminden (N_2O'yu N_2 ye indirgeyen enzim) yoksun olduğundan yüksek toprak nitrat miktarı, mantari denitrifikasyonu tetikleyici rol oynamış olabilir (Senbayram ve ark., 2012).

Tuzsuz toprak nitrat içerikleri incelendiğinde N_2O emisyonunda nitrifikasyonun baskın olduğu tahmin edilmektedir. Deneme başlangıcında, potasyum nitrat

uygulaması ile toprak NO_3^- içeriği neredeyse sabit kalırken, kontrol ve amonyum sülfat uygulamalarının NO_3^- içeriği neredeyse paralel eğim oluşturmuş ve kontrol toprağına göre amonyum sülfat uygulamasında artış gözlenmiştir. Denitrifikasyon sırasında oluşan gazlar arasında son ürün elementel N_2'dir, ancak toprak kaynaklı N_2 emisyonunun miktarı ve etki eden faktörlerin ne olduğu bu çalışmada incelenememiştir. Ayrıca denemede kullanılan topraklar kıyasladığında, tuzlu topraklarda meydan gelen N_2O emisyonlarının, tuzsuz toprağa göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Tuzlu toprakta kümülatif emisyon oranları, kontrol uygulamasına göre potasyum nitrat uygulamasında yedi kat artış tespit edilmiştir. Tuzlu topraklarda meydan gelen N_2O emisyonlarının bakteriyel denitrifkasyon kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Denitrifikasyonun bakteri ve mantarların aktivesi sonucu oluşmaktadır. Ancak denitrifikasyonda rol oynayan mantarların redüktaz enziminden yoksun olduğu bilinmektedir. Ancak tuzluluğa mantarların bakterilerden daha duyarlı olduğu rapor edilmiştir (Su ve ark. 2016). Deneme başlangıcından itibaren potasyum nitrat uygulamasında hızla N_2O emisyonu meydana gelirken kontrol amonyum sülfat uygulamaları N_2O emisyon miktarları düşük seviyede kalmıştır.

Tuzluluğun nitrifikasyonu ve denitrifikasyon üzerinde etkilerin bulunmasından dolayı N_2O emisyonu etkilemektedir (Li ve ark., 2020). Nitrifikasyon, toprak mikroorganizmaları tarafından NH_3 veya NH_4^+ önce NO_2 daha sonra NO_3^- dönüştürülmesidir. Tuzluluğun nitrifikasyonu inhibe etmesiyle toprakta NH_3 buharlaşması, NH_4 ve NO_2^- birikmesi beklenmektedir. Toprak tuzluluğun, amonyak oksidasyonu ve nitritleyiciler üzerinde olumsuz etkisi bulunmaktadır. Nitrifikasyonda rol oynayan bakterilerin tuz konsantrasyonun artmasıyla azaldığı bilinmektedir. Yapılan önceki çalışmalarda yüksek tuzluluğa karşı nitrifkasyonda yer alan nitrit oksitleyen bakterilerin (NOB), amonyak oksitleyen bakterilere (AOB), göre daha yüksek duyarlılık gösterdiği bulunmuştur (Akhtar ve ark 2012;,Li ve ark., 2020). Dolaysıyla tuzlu topraklarda NO_2^- birikiminin tuzsuz topraklara göre daha yüksek olması varsayılmaktadır (Li ve ark., 2020). Topraklarda NO_2^-, hem NO_3^- indirgenmesinde hem de NH_4^+ oksidasyonu sırasında oluşan bir ara üründür (Zhao ve ark., 2014). Akhtar ve ark (2012) tarafından yapılan çalışmada toprak NO_2^- içerikleri ile N_2O emisyonları arasında önemli pozitif bir korelasyon olduğunu bildirmiştir. N_2O-

redüktaz enzimi, yaygın bakteriler tarafından üretilen ve N_2O'i elementel azota indirgeyebilen tek enzimdir (Qin ve ark., 2014). Ayrıca oksijenin sınırlandırıldığı ortam koşulları altında ve yüksek NO_2^- mevcudiyetinde amonyum oksitleyici bakteriler tarafından, amonyak oksidasyonu ile birlikte nitriti, N_2O indirgebileceği bildirilmiştir (Pauleta ve ark., 2013). Bunun yanı sıra tuzluluğun redüktaz enzimi üzerinde inhibe edici etkisinin bulunduğu ve N_2O emisyonu birikimine neden olduğu bildirilmiştir (Li ve ark., 2020). Denitrifikasyon yapan mikroorganizmalar ara aşamalarda gaz üretimi NO_3^- ve NO_2^- indirgenmesi sonucu oluşur. Denitrifikasyon aşamaları nitrat redüktaz (Nar), nitrit redüktaz (Nir), nitrit oksit redüktaz (Nor) ve nitröz oksit redüktaz (N_2OR) tarafından katalize edilir (Pauleta ve ark., 2013). Toprak tuz içeriğinde meydan gelen artışların, N_2O-redüktaz aktivitesini veya novo sentezini inhibe edildiği bildirilmiştir (Romero ve ark., 2009). Toprak tuzluluğunun nitrifikasyonu geciktirmesi veya tamamen engellemesi tuzluluk konsantrasyonu ve toprak eklenen değişikliklerin miktarına bağlı olduğu bildirilmiştir (Laura, 1976).

Toprak tuzluluğun N_2O emisyonu ve diğer azot gaz kayıplarındaki rolünün aydınlatılması için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Tuzlu toprak uygulamalarında nitrat içeriklerine bakıldığında nitrifikasyonun geciktirildiği ve denitrifikasyonun baskın olduğu görülmektedir. Toprak nitrat içeriğinin yükselmesinde ilave edilen organik C mikrobiyal aktiviteyi uyardığı ve mineralizasyonu teşvik ettiği düşünülmektedir (İlik 2018). İnkübasyon deneyi sonuçlarını değerlendirdiğimizde, tuzlu toprak N_2O emisyonlarının kaynakları, NO_3^- ve yarayışlı C içeriği etkisine ek olarak N_2O-redüktaz enziminin inhibe edilmesi olduğu kanaatine varılmıştır.

Toprak nitrat içeriklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler karşılaştırıldığında, nitrat sensör kullanımının toprak nitrat konsantrasyonlarını belirlemede kullanılabileceği düşünülmektedir. Birçok araştırmacı nitrat sensörünün, bitki özsuyu, toprak çözeltisi, hidroponik çözeltilerde nitrat içeriğinin belirlenmesinde kullanılabilir olduğunu kabul etmektedir (Milham ve ark. 1970; Onken and Sunderman 1970; Thottan, 1994; Mitschele ve ark., 2012). Deneme sonuçları incelendiğinde, inkübasyon denemesinden önce tuzsuz proje topraklarının ön denemesinin nitrat

içeriği belirlenmesinde kullanıldığında laboratuvar koşullarında yapılan kolorimetrik yöntem değerleri ile yüksek oranda korelasyon (r2=09235) bulunmuştur. Hartz, (1993) ve Mitschele ve ark., (2012) tarafından yapılan çalışmalar ile sonuçlarımız benzerlik göstermektedir. Diğer taraftan tuzlu topraklarda belirlenen nitrat içerikleri, nitrat sensörü kullanılarak belirlenen değerler arasında çok düşük korelasyon gözlenmiştir. Proje toprakları ile inkübasyon toprakları arasındaki farkın yüksek olmasının nedeninin, nitrat sensorünün kısa ömrüne bağlı sapmalar nedeni ile de meydana geldiği düşünülmektedir. Belirli bir zaman kullanımından sonra nitrat iyon seçici elektrotundan gelen voltaj ayda 10 ila 20 mV sabit bir oranda düşebilmektedir (Milham ve ark., 1970). Bir diğer etkinin asılı kalan toprak parçacıkları elektrot zarının hızlı aşınmasına neden olabileceği varsayılmaktadır (Milham ve ark., 1970)

Tuzlu toprakların bir fraksiyonu olan Cl^-'ün konsantrasyonlarının nitrat iyon elektrotu ölçümlerine etki ettiği düşünülmektedir. Nitrat iyon seçici elektrotun Cl^- iyonlarına tepki vermesinden dolayı ölçülen nitrat değerlerinin yüksek olmasına neden olmaktadır (Paul and Carlson 1968). Toprak nitrat elektrot kullanımında Cl^-, HCO_3^- ve NO_2^- etkileşiminde en büyük payın Cl^- olduğu düşünülmektedir. Toprak nitrit(NO_2^-) ve klor (Cl^-) konsantrasyonu ele alındığında yüksek nitrit konsantrasyonu gözlenmezken, Cl'ün gübre bileşeni olmasından kaynaklı konsantrasyonun yüksek olması olasıdır. Daha detaylı olarak ele almak gerekirse, Cl^- ve NO_2^- özellikle düşük nitrat konsantrasyonlarında sonuçları etkiler ancak girişim derecesi toprak tipinden önemli derece de etkilenir. Bunun yanı sıra tarımsal alanlarda gübre kullanımından kaynaklı Cl^- konsantrasyonun yüksek olabileceği bilinmektedir (Mitschele ve ark., 2012). Özetle nitrat iyon elektrotun kullanımında, toprak tipi, toprak anyon ve katyon içeriklerinin ve elektrot raf ömrünün ölçümlerdeki doğruluğu etkileyebilmektedir. Nitrat iyon seçici elektrot, toprak NO_3^- içeriğini belirlemede kullanılabileceği ancak raf ömrünün kısa olduğu düşünülmektedir. Tuzlu topraklarda kullanımı için daha detaylı çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Çalışma sonuçlarına göre;

Tarım yapılan arazilerde kullanılan gübrelerin N_2O emisyonu arttırdığı ve toprak tuz içeriklerinin N_2O emisyonun tetiklediği görülmektedir. Tuzlu topraklarda nitrat içerikli gübre uygulaması amonyum bazlı gübre uygulamasına göre N_2O emisyonunu 7 kat daha fazla arttırmıştır. Bu nedenle, tuzlu toprak tipine sahip arazilerde, N_2O emisyonun azaltılması açısından nitrat bazlı gübrelerin kullanılmaması gerekmekte olduğu sonucu çıkmaktadır. Tuzluluğun hem nitrifikasyon ve denitrifikasyon inhibe ettiği ve toprak nitrat içeriklerinde azalmalara neden olduğu görülmektedir. Toprak nitrat sensörünün bölgemiz topraklarında nitrat miktarını belirlemede ve izlenmesinde kullanılabileceği düşünülmemektedir.

5.2. Öneriler

Tarımsal üretimde verim artışı talebi, azotlu gübre kullanımı arttırmaktadır. Bölge topraklarında gübre etkinliğinin arttırılmasının ve meydana gelen kayıpların azaltılması için tuzlu topraklarda N_2O emisyonlarını azaltılması amacıyla nitrat içerikli gübre uygulamasından kaçınılması gereklidir. Toprak kaynaklı N_2O emisyonlarını azaltma stratejilerin geliştirilmesi ve bölge topraklarında daha etkin gübreleme için daha detaylı saha ve laboratuvar çalışmalarına gereksinim bulunmaktadır. Nitrat sensorü, laboratuvar koşullarına hızlı ve güvenilir bir alternatiftir ancak daha geniş toprak türlerinde ve alanlarda sensor kullanımına etki eden faktörlerin daha detaylı araştırılması gereklidir.

6. KAYNAKLAR

AKHTAR M., HUSSİAN 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.

ALEXANDER, M. 1978. Introduction to soil microbiology. *Soil Science*, *125*(5): 331.

AZAM, F. MÜLLER, C., WEİSKE A., and BENCKİSER, G., 2002. Nitrification and denitrification as sources of atmospheric nitrous oxide – role of oxidizable carbon and applied nitrogen. Biology and Fertility of Soils, 35(1): 54-61.

BASOSİ, R., SPİNELLİ, D., FİERRO, A., and JEZ, S. 2014. Mineral nitrogen fertilizers: environmental impact of production and use. Fertil. Compon. Uses Agric. Environ. Impacts, Nova science publishers. Lopez-Valdez, F and Fernandez-Luquenos, F, New York, (2014):3-44.

BODİRSKY, B. L., POPP, A., LOTZE-CAMPEN, H., DİETRİCH, J. P., ROLİNSKİ, S., WEİNDL, I., ... and STEVANOVİC, M. 2014. Reactive nitrogen requirements to feed the world in 2050 and potential to mitigate nitrogen pollution. Nature communications, *5*(1), 1-7.

BOUWMAN, A. F., BOUMANS, L. M., and BATJES, N. H. 2002. Emissions of N_2O and NO from fertilized fields: Sumary of available measurement data. Global biogeochemical cycles, 6(1): 6-13.

BREİTENBECK, G. A., BLACKMER, A. M., and BREMNER, J. M. (1980). Effects of different nitrogen fertilizers on emission of nitrous oxide from soil. Geophysical Research Letters, 7(1):85-88.

DENİZ, N., 2019. Kullanılan farklı gübre çeşitlerinin n_2o ve co_2 salınımına etkisi. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 36.

FERNANDES, M. S., and ROSSİELLO, R. P. (1995). Mineral nitrogen in plant physiology and plant nutrition. Critical Reviews in Plant Sciences, 14(2):111-148

GİOİA, F. D., SİMONNE, E. H., GONNELLA, M., SANTAMARİA, P., GAZULA, A., and SHEPPARD, Z. 2010. Assessment of ıonic ınterferences to nitrate and potassium analyses with ıon selective electrodes. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 41(14):1750-1768.

GÜNAL, E., ERDEM, H., ve KAPLAN, A. 2017. Biyokömür ilavesinin toprakta nitrat ve amonyum yıkanmasına etkileri. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 21(1):77-83.

HAHN, J., and JUNGE, C. 1977. Atmospheric nitrous oxide: A critical review. Zeitschrift für Naturforschung A, 32(2):190-214.

HARRİSON, R., and WEBB, J. 2001. HARRİSON, R., ve WEBB, J. 2001. A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions. Adv. Agron., (2001): 65-108.

İLİK, L., 2019. Farklı gübre çeşitlerine uygulanan nitrifikasyon inhibitörünün topraktan n_2o salınımını azaltma etkinliğinin araştırılması. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 57.

INUBUSHİ, K., BARAHONA, M. A., and YAMAKAWA, K. 1999. Effects of salts and moisture content on N_2O emission and nitrogen dynamics in yellow soil

and andosol in model experiments. Biology and Fertility of Soils, *29* (4): 401-407.

KİM, H. J., HUMMEL, J. W., SUDDUTH, K. A., and MOTAVALLİ, P. 2007. Simultaneous analysis of soil macronutrients using ıon-selective elektrodes. Soil Science Society of America Journal, 71(6**)**: 1867-1877.

KAYA, C., and HİGGS, D. 2003. Relationship between water use and urea application in salt-stressed pepper plants. Journal of Plant Nutrition, 26(1): 19-30.

KİRNAK, H., HİGGS, D., KAYA, C., and TAS, I. 2005. Effects of irrigation and nitrogen rates on growth, yield, and quality of muskmelon in semiarid regions. Journal of Plant Nutrition, 28(4): 621-638.

KÖBKE, S., SENBAYRAM, M., PFEİFFER, B., NACKE, H., and DİTTERT, K. 2018. Post-harvest N_2O and CO_2 emissions related to plant residue incorporation of oilseed rape and barley straw depend on soil NO_3^- content. Soil and Tillage Research, 179: 105-113.

LAWLOR, d. w., LEMAlRE, G., and GASTAL, f. 2001. Nitrogen, plant growth and crop yield. In Plant Nitrogen (Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 343-367).

LAURA, R.D. 1976. Salinity and nitrogen mineralization. Soil Biology and Biochemistry, *9*(5): 333-336.

LI, Y., XU, J., LİU, B., WANG, H., Qİ, Z., WEI, Q., and LIU, S. 2020. Enhanced n_2o production ınduced by soil salinity at a specific range. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(14): 5169.

LI, Y., XU, J., LIU, S., Qİ, Z., WANG, H., WEI, Q. and HAMEED, F. 2020. Salinity-induced concomitant increases in soil ammonia volatilization and nitrous oxide emission. Geoderma, 361: 114053.

MAUCİERİ, C., ZHANG, Y., MCDANİEL, M. D., BORIN, M., and ADAMS, M. A. 2017. Short-term effects of biochar and salinity on soil greenhouse gas emissions from a semi-arid Australian soil after re-wetting. Geoderma, 307: 267-276.

MAVİ, M. S., MARSCHNER, P., CHITTLEBOROUGH, D. J., COX, J. W., and 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.

MENG Y., HE Z., LİU B., CHEN L., LİN P. and LUO W., (2020). Soil salinity and moisture control the processes of soil nitrification and denitrification in a riparian wetlands in an extremely arid regions in northwestern china.Water. 12(10): 2815

MİLLER, M.N., ZEBARTH B.J., DANDİE, C.E., BURTON, D.L., GOYER C. and TREVORS, J.T., 2008. Crop residue influence on denitrification, N_2O emissions and denitrifier community abundance in soil. Soil Biology and Biochemistry, 40(10): 2553-2562.

MİTSCHELE, R., RADOVİCH, T., FARES, A. and AHMAD, A. 2012. Field and laboratory evaluation of the cardy nitrate-nitrogen meter for measuring soil solution nitrate nitrogen in hawaiian soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 43:9, 1237-1246.

NOVOA , R., and LOOMİS, R. S. 1981. Nitrogen and plant production. Springerlink, 58(1) :177-204.

ONKEN, A. B. and SUNDERMAN, H. D. 1970. Use Of The nitrate electrode for determination of nitrates in soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1(3): 155–161.

ÖNAL, F., 2019. Nitrifikasyon İnhibitörünün Pamuk Bitkisinin Azot İçeriği Ve Kütlü Verimi Üzerine Etkisinin Araştırılması. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 47.

PAUL, J. L. and CARLSON, R. M. 1968. Nitrate Determination in Plant Extracts by the Nitrate Electrode. Journal of Agricultural Food Chemistry, 16(5): 766–768.

PAULETA, S.R., ACQUA S.D., and MOURA, I. 2013. Nitrous oxide reductase. Coordination Chemistry Reviews, Coordination Chemistry Reviews, 257(2): 332-349.

QİNUAN, H., HU, C., OENEMA, O., ZHANG, Y., Lİ, X. and De, S., Y. 2014. termination of potential N_2O-reductase activity in soil. Soil Biology and Biochemistry, 70: 205-210.

REDDY, N., and CROHN, D. M. 2014. Effects of soil salinity and carbon availability from organic amendments on nitrous oxide emissions. Geoderma, 235: 363-371.

ROMERO, E.R., HERDANDEZ, R.M., MONDRAGON, C.C., MARSCH, R., LUNA-GUİDO, M.L., and DENDOOVEN, L. 2009. Denitrification in extreme alkaline saline soils of the former lake Texcoco. Plant Soil,319(1): 247-257.

SCHEPERS, J. S., and RAUN, W. 2008. Nitrogen in agricultural systems. Soil Science Society of America, (49): 201-254.

SENBAYRAM, M., SAYGAN,, E. P., CHEN, R., AYDEMİR, S., KAYA, C., WU, D., and BLADOGATS, E. 2019. Effect of biochar origin and soil type on the greenhouse gas emission and the bacterial community structure in N fertilised acidic sandy and alkaline clay soil. Science of the Total Environment, 660: 69-79.

SENBAYRAM, M., WELL, R., BOL, R., CHADWİCK, D. R., JONES, D. L., and WU, D. 2018. Interaction of straw amendment and soil NO_3^- content controls fungal denitrification and denitrification product stoichiometry in a sandy soil. Soil Biology and Biochemistry,126: 204-212.

SETIA, R., GOTTSCHALK, p., MARSCHNER, P., BALDOCK, J., SETIA, D., and SMITH, J. 2013. Soil salinity decreases global soil organic carbon stocks. Science of the Total Environment, 465:267-272.

SHİ, B., ZHANG, J., WANG, C., MA, J., and SUN, W. 2018. Responses of hydrolytic enzyme activities in saline-alkaline soil to mixed inorganic and organic nitrogen addition. Scientific reports,8(1): 1-12.

SOYERGİN, S. 2003. Organik Tarımda Toprak Verimliliğinin Korunması, Gübreler ve Organik Toprak İyileştiricileri.

SÖNMEZ, İ., ve DEMİR, H. 2011. Tarımsal kaynaklı nitrat kirliliği ve olumsuz etkileri. Researchgate, 287-294.

SU Y.Z., LİU, T.N., WANG, X.F. and YANG, R., 2016. Salinity effects on soil organic carbon and its labile fractions, and nematode communities in irrigated farmlands in an arid region, Northwestern China. Sciences in Cold and Arid Regions. 8(1):46-53.

TENUTA, E.G. and BEAUCHAMP, M. 2003. Nitrous oxide production from granular nitrogen fertilizers applied to a silt loam soil. Canadian Journal of Soil Science,83(5): 521-532.

THOTTAN, J., ADSETT, J. F., SİBLEY, K. J., and MACLEOD, C. M. 1994. Laboratory evaluatıon of ıon selective electrode for use ın an automated soil nitrate monitoring system. Communications in Soil Science and Plant Analysis, *25*(17-18): 3025-3034.

TUBIELLO, F. N., ROSENZWEIG, C., CONCHEDDA, G., KARL, K., GUTSCHOW, J., XUEYAO, P., and SANDALOW, D. 2021. Greenhouse gas emissions from food systems: building the evidence base. Environmental Research Letters, 16(6): 065007

TULİ, A., WEİ, J. B., SHAW, B. D., and HOPMANS, J. W. 2009. In situ monitoring of soil solution nitrate: proof of concept. Soil Science Society of America journal, 73(2): 501-509.

YANG, j., KİM, j., SKOGLEY, O. E., and SCHAFF, B. E. 1998. A simple spectrophotometric determination of nitrate in water, resin, and soil extract. Soil Science Society of America Journal, 62(4): 1108-1115.

WİLHELM, W. W., ARNOLD, S. L. and SCHEPERS, J. S. 2000. Using a nitrate specific ion electrode to determine stalk nitrate-nitrogen concentration. Agronomy Journal, 92: 186–189.

WU , D., SENBAYRAM, M., WELL, R., BRUGGEMANN, N., PFEIFFER, B., LOICK, N., and BOL, R. 2017. Nitrification inhibitors mitigate N_2O emissions more effectively under straw-induced conditions favoring denitrification. Soil Biology and Biochemistry, 104: 197-207.

WU, D., SENBAYRAM, M., ZANG, H., UGURLAR, F., AYDEMİR, S., BRUGGEMANN, N., and BLAGODATSKAYA, E. 2018. Effect of biochar origin and soil pH on greenhouse gas emissions from sandy and clay soils. Applied Soil Ecology, 129: 121-127.

ZHANG, L., SONG, L., WANG, B., SHAO, H., ZHANG, L., and QİN, X. 2018. Co-effects of salinity and moisture on CO_2 and N_2O emissions of laboratory-incubated salt-affected soils from different vegetation types. Geoderma, 332: 109-120.

ZHAO, W., WANG, Y., ZHOU , Z., MENG, Y., CHEN, B., and OOSTERHUİS, D. M. 2012. Effect of nitrogen rates and flowering dates on fiber quality of cotton. Journal of Experimental Agriculture International, (2012): 133-159.

ZHAO, W., WANG, LİN, X., ZHOU, D., PAN, M and YANG, J. 2014. Identification of the salinity effect on N_2O production pathway during nitrification: Using stepwise inhibition and 15N isotope labeling methods. Chemical Engineering Journal, 253: 418-426.