T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

RİZOSFER ETKİSİ VE AZOTLU GÜBRELEMENİN SERA GAZI EMİSYONU ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Medine AĞ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET ..... İ
ABSTRACT ..... İİ
TEŞEKKÜR ..... İİİ
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... İV
ÇİZELGELER DİZİNİ V
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ ..... Vİ
1.GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 5
2.1. Doğada Azot Döngüsü ve Bitkinin Azot İhtiyacı 5
2.2. Toprakta Azot Dengesizliğinin Bitkiler Üzerindeki Etkisi 7
2.3. Arpa Bitkisinde Azotlu Gübreleme Zamanı ve Miktarı 8
2.4. Azotlu Gübreler ve Sebep Oldukları Sera Gazı Emisyonları 8
3.MATERYAL ve YÖNTEM 13
3.1. Materyal 13
3.1.1. Araştırma Materyali 13
3.1.2. Denemenin Kurulduğu Yer ve Tarih 13
3.2.Yöntem 14
3.2.1. Deneme Metodu ve Uygulama 14
3.2.2. Toprak analizleri 16
3.2.2.1. Toprakta Nitrat (NO_3^-) Analizi 16
3.2.2.2. Toprakta Amonyum (NH_4^+) Analizi 17
3.2.3. Gaz Ölçümlerin Değerlendirmesi 17
3.2.4. İstatistik Değerlendirme 18
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 19
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 32
5.1. Sonuçlar 32
5.2. Öneriler 32
KAYNAKLAR 33

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

RİZOSFER ETKİSİ VE AZOTLU GÜBRELEMENİN SERA GAZI EMİSYONU ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Medine AĞ

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

Danışman: Prof. Dr. Salih AYDEMİR
Yıl: 2021, Sayfa:36

Dünyada iklim değişikliğine etki eden birçok faktör arasında en önemlisinin, güneşten yansıyan ışınları absorbe ederek atmosferin ısınmasını sağlayan sera gazlarının atmosferdeki konsantrasyonunun artışı olduğu kabul edilmektedir. En önemli sera gazları arasında CO_2, CH_4 ve N_2O bulunmakta ve salınan N_2O gazının en önemli kaynağını tarımsal alanlar oluşturmaktadır. Bu çalışmanın amacı; arpa ekili alkalin topraklarda farklı azotlu gübreler kullanılması sonucu meydana gelen N_2O salınım miktarının belirlenmesi ve GAP bölgesi için uygun gübreleme programlarının ortaya çıkarılmasıdır. Bu kapsamda hedefimiz, bölgede yaygın olarak ekilen arpa bitkisinin kök aktivitesi ve farklı azotlu gübrelerin (potasyum nitrat (PN), amonyum sülfat (AS) ve üre (Ü)) topraktan N_2O salınımına etkisini tespit etmek ve bölgede bolca kullanılan azotlu gübrelerden kaynaklı N_2O salınımını azaltacak gübre çeşidini belirlemektir. Deneme uygulaması, robotik sürekli akım toprak-denitrifikasyon inkubasyon çember sisteminde gerçekleştirilmiştir. Çalışma, bu kapsamda, bitkili (Arpa) ve bitkisiz toprak olmak üzere iki farklı grupta kurgulanmıştır. Uygulamalar için 24 inkübasyon çemberi kullanılmıştır. Her bir inkübasyon çemberine 8 adet arpa tohumu ekilmiş ve 12 kg/da olacak şekilde PN, AS ve Ü gübreleri uygulanmıştır. Deneme kapsamında, toprak örneklerinde amonyum ve nitrat analizleri yapılmıştır. Robotik sistemle de N_2O gaz ölçümleri saatlik olarak yapılmıştır. Çalışmada toplam N_2O salınımında uygulamalar arasında önemli farklılıkların olduğu görülmüştür. Kontrolle kıyaslandığında bütün gübre uygulamalarında N_2O emisyonunda artış olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre bitkili ortamda, bütün gübre formlarının kullanımı ile N_2O salınımının gerçekleştiği bitkili KNO_3 ' te gerçekleşen salınımın diğer gruplara göre 5 kat daha fazla salınım olduğu görülmüştür. Bitkisiz ortamdaki salınımın çok daha fazla olduğu belirlenmiş olup istatistiki olarak önemli görülmüştür ($p < 0.05$). Çalışma sonuçları genel olarak alkali ortamlardaki arpa bitkisinin yetiştirilmesi sürecinde, üre uygulamasının N_2O (sera gazı) salınımını en aza indirdiğini göstermiştir

ANAHTAR KELİMELER: Alkalin Toprak, N_2O, Azotlu Gübreleme, Rizosfer, Arpa

ABSTRACT

MSc Thesis

EFFECTS OF RHIZOSPHERE PROCESS AND NITROGEN FERTILIZATION ON GREENHOUSE GAS EMISSIONS

Medine AĞ

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

Supervisor: Prof. Dr. Salih AYDEMİR
Year: 2021, Page: 36

It is accepted that the most important factor among the many factors affecting climate change in the world is the increase in the concentration of greenhouse gases in the atmosphere, which absorb the rays reflected from the sun and warm the atmosphere. Among the most important greenhouse gases are CO_2, CH_4 and N_2O, and the most important source of the released N_2O gas is agricultural fields. The aim of this study; The aim of this study is to determine the amount of N_2O emission that occurs as a result of using different nitrogen fertilizers in alkaline soils cultivated with barley and to reveal suitable fertilization programs for the GAP region. In this context, our goal is to determine the root activity of the barley plant, which is widely planted in the region, and the effect of different nitrogen fertilizers (potassium nitrate (PN), ammonium sulfate (AS) and urea (U)) on the release of N_2O from the soil and to reduce the release of N_2O from nitrogen fertilizers used extensively in the region determine the type of fertilizer. The trial application was carried out in a robotic continuous current soil-denitrification incubation ring system. In this context, the study was designed in two different groups as vegetated (Barley) and non-vegetated soil. 24 incubation circles were used for the applications. 8 barley seeds were planted in each incubation chamber and PN, AS and Ü fertilizers were applied at 12 kg/da. Within the scope of the experiment, ammonium and nitrate analyzes were made in soil samples. N_2O gas measurements were made hourly with the robotic system. In the study, it was observed that there were significant differences between the applications in the total N_2O release. It was observed that the release in the plant KNO3 was quintuple more than the other groups. The results of the study showed that the application of urea minimizes the emission of N_2O (greenhouse gas) in the process of growing barley plants in alkaline environments.

KEYWORDS: Alkalıne Soıl,Greenhouse Gas,Nıtrogen Fertılızatıon**,**Rhizosphere,Barley

TEŞEKKÜR

Çalışmanın planlanması ve yürütülmesinde katkısı bulunan, yüksek lisans öğrenimim boyunca destek olan, bilgi birikimi ve tecrübesiyle bana her daim yol gösteren danışmanım Sayın Prof. Dr. Salih AYDEMİR hocama içtenlikle teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmamın arazi ve laboratuvar çalışmaları sırasında yardımcı olan Arş. Görevlisi sayın Ferhat UĞURLAR ve Hamza YALÇIN'a, Doktora öğrencileri olan sayın Veysel GÖKMEN, Hasine ELÇİ'ye ve yüksek lisans arkadaşım Muhammed KOYUNÇU'ya en içten duygularımla teşekkür ederim. Bütün eğitim ve öğretim hayatım süresince desteklerini yanımda hissettiğim ilk olarak babam İbrahim AĞ' a annem Adile AĞ olmak üzere aileme teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2. 1. Azot döngüsü 6
Şekil 3. 1. Çalışmada kullanılan inkübasyon sistemi (ROFLOW) 14
Şekil 3. 2. Deneme kurulum aşamaları.....16
Şekil 4. 1. Zamana bağlı olarak toprakta meydana gelen N_2O salınımı 19
Şekil 4. 2. Zamana bağlı olarak toprakta meydana gelen ortalama kümülatif N_2O salınımı.20
Şekil 4. 3. Zamana bağlı olarak toprakta meydana gelen N_2O salınımı 21
Şekil 4. 4. Zamana bağlı olarak toprakta meydana gelen ortalama kümülatif N_2O salınımı...21
Şekil 4. 5. KNO_3 uygulanan toprakta zamana bağlı olarak N_2O salınımı.....22
Şekil 4. 6. Zamana bağlı olarak KNO_3 uygulanan toprakta kümülatif N_2O salınımı……..23
Şekil 4. 7. AS uygulanan toprakta zamana bağlı olarak N_2O salınımı 24
Şekil 4. 8. Zamana bağlı olarak AS uygulanan toprakta kümülatif N_2O salınımı 24
Şekil 4. 9. Üre uygulanan toprakta zamana bağlı olarak N_2O salınımı 25
Şekil 4. 10. Zamana bağlı olarak ÜRE uygulanan toprakta kümülatif N_2O salınımı……...26
Şekil 4. 11 Arpa Bitkisi ekili alanda zamana bağlı olarak toprakta NO_3^- miktarı 28
Şekil 4. 12 Çıplak toprakta zamana bağlı olarak toprakta NO_3^- miktarı.....29

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3. 1. Denemede yapılacak uygulamalar 15
Çizelge 4. 1. Tukey HSD Çoklu Karşılaştırma Testi 26
Çizelge 4. 2. Tukey HSD Çoklu Karşılaştırma Testi NO_3 ($p<0.05$).....26
Çizelge 4. 3. NO_3 Tanımlayıcı İstatistikler 27
Çizelge 4. 4. NH_4 Tanımlayıcı İstatistikler 27
Çizelge 4. 5. N_2O Varyans Analizi.....30
Çizelge 4. 6. Tukey HSD Çoklu Karşılaştırma Testi N_2O ($p<0.05$).....30
Çizelge 4. 7. İki Yönlü Anova Karşılaştırma Testi N_2O ($p<0.05$) 30

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

N	Azot
NH_4	Amonyum
NO_3	Nitrat
N_2O	Nitroz Oksit
CO_2	Karbondioksit
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
IPPC	Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Direktif
CH_4	Metan
N_2	Di nitrojen gazı
P=0.5	İstatistik Önem Seviyesi
K	Kontrol (gübresiz) uygulaması
AS	Amonyum Sülfat
Ü	Üre
PN	Potasyum Nitrat
L	litre
G	gram
Kg	Kilogram
da	dekar
ha	hektar

1.GİRİŞ

Yirminci yüzyılda dünyanın karşılaştığı en önemli sorunlardan biri de artan dünya nüfusu karşısında insanlara yeterli miktarda besinin sağlanamama endişesi yaşanmaktaydı. Gıda ihtiyacının karşılanmasında önemli bir yeri olan, arpa tahılının; tüm çevre koşullarına rahatlıkla uyum sağladığından dolayı tarih boyunca kullanılan besinlerin başında yer almaktadır. Bundan dolayı Arpa üreticiliği Dünyanın hemen hemen her bölgesinde görülmektedir. Dünya genelinde her yıl 130-150 milyon ton arpa üretimi yapılmaktadır (TÜİK, 2020). Ülkemizde ise tarla bitkileri arasında buğdaydan sonra en çok üretimi yapılan ürün arpa olmaktadır. Ülke genelinde arpa üretimi yapılması ile beraber en çok arpa üretiminin yapıldığı iki bölge ise GAP (Diyarbakır, Şanlıurfa, Mardin) ve Orta Anadolu (Ankara, Karaman, Eskişehir ve Konya) ' dur. Arpa üretimi iklim şartları ,yanlış tarımsal gübre uygulamaları ve hastalıklara bağlı olarak her yıl üretim miktarı değişmektedir.

Gübreleme, üretimde kalite ve verime direkt etki ettiğinden dolayı yöntemin doğru bir şekilde uygun zaman ve dozda gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Gübreleme bilinçsiz ve yoğun bir şekilde yapıldığında sera gazı emisyonlarına neden olabilmektedir. Hatalı yöntemlerle yapılan gübreleme, birim alandan alınan ürün miktarında azalma ve ürün miktarının düşük kalitede olması gibi sonuçlar doğurabilir. Bu problemlerin çözümüne yönelik çeşitli gübre üretimleri hız kazanmıştır.

İlk azotlu gübre üretimi Alman Kimyager Fritiz Haber ve Carl Bosch tarafından geliştirildikleri sistem ile atmosferde %78 oranında serbest halde bulunan N_2 (azot) gazını kullanarak yüksek basınç ve yüksek sıcaklıkta demir katalizör yardımıyla H_2 (hidrojen) ile N_2 (azot) reaksiyona girerek NH_3(amonyak)'e dönüştüren sistemleri ile ihtiyaç duyulan azotlu gübre ve ihtiyaç duyulan besin üretimi sağlanmıştır. Artan besin üretimi ile doğrusal olarak da dünya nüfus popülasyonunda artış gözlemlenmiştir.

Bitkiler, büyüme ve gelişme periyotlarında gerekli besin maddelerini atmosferden ve yetişme ortamından alırlar. İhtiyaç duyulan temel elementler, makro-mikro besin elementleri. Bitkiler ihtiyaç duydukları temel elementleri havadan(C),

sudan (H), hem havadan hem de sudan (O) karşılarlar. Verim için mutlak besin elementlerinden biri olan azot (N) ve diğer elementler ise topraktan karşılanır. Bitkilerin yaşamsal faaliyet için gerekli olan (N) azot; bitkilerin organik bileşik yapısını (proteini, klorofil, nükleik ve amino asit) oluşturmaktadır. Bitkilerin temel ihtiyaçları arasında yer alan N besin maddesi , baklagiller hariç tarımsal ürünlerin üretilmesi için mutlak gereklidir . Atmosferin %78 N_2 oluşturmasına rağmen bitkinin kullanabileceği formda olmadığından üretimde azot eksikliği yaşanmaktadır. Bundan dolayı üreticiler tarafından daha fazla verim almak için sürekli olarak azotlu gübreleme yapılmaktadır (Baran Aras, Selim Uygun).

Çeşitli yöntemlerle üretilen azotlu gübreler, besin üretimi için fayda sağlarken aşırı kullanımı sonucu toprakta, mikrobiyal (nitrifikasyon ve denitrifikasyon) aktiviteler sonucu N_2O'ya dönüşerek sera gazı olarak salınmasına neden olmaktadır. Sera gazları; CO_2 (karbondioksit), CH_4 (metan), N_2O (Diazot monoksit), CFCs (kloroflourkarbon) vb. diğer gazlar oluşturmaktadır. Bu gazların atmosferdeki birikimlerinin hızlı artması ve tarımsal alanlarda artan azotlu gübre kullanımı sonucunda sera gazı etkisi yaratmakta ve iklim değişikliğinin oluşmasına sebep olmaktadır (Butterbach-Bahl ve ark. 2013).

Sera gazları; sanayi, enerji üretimi, nüfus artışı, kentleşme ve tarım gibi alanlanlarda görülen artış iklim değişimine neden olmaktadır. Tarım sektöründeki yanlış uygulamalar da iklim değişimini etkilemektedir. Tarım alanında uygulanan azotlu gübrelemenin artışı ile atmosfere salınan N_2O sera gazı salınımı da artmaktadır.

Azot (N), atmosferde %78 oranında gaz halinde olmasına rağmen, bitkiler tarafından doğrudan kullanılamamaktadır. Azot (N), bitki büyümesi için en önemli sınırlayıcı makro besin elementidir (LeBauer ve Treseder, 2008). Tüm canlı organizmaların, bitkilerde klorofilin, nükleotidlerin ve proteinlerin temel bir bileşeni olan azota (N) gereksinimleri vardır.

Bitkiler, azot (N) ihtiyacını toprağa uygulanan azotlu gübrelerden karşılamaktadır. Bitkiler azotu , NH_4^+(amonyum) ve NO_3^- (nitrat)olarak iki formda bünyelerine alabilmektedir. Ancak uygulanan azotlu gübre; yağışlı ve aşırı sulama yapılan bölgelerde, nitrat (NO_3^-) formunda topraktan yıkanarak yeraltı sularına

karışabilmekte ve topraktaki mikrobiyal aktiviteler (nitrifikasyon ve denitrifikasyon) sonucu sera gazı salınımına (NO, N_2O) neden olmaktadır (Karaşahin, 2014).

Denitrifikasyon, nitrat ve nitrit bileşiklerinin, oksijen miktarının az veya hiç olmadığı koşullarda mikroorganizmalar tarafından redüksiyona uğratılarak (NO, N_2O ve N_2) elementer azota dönüştürülmesi olayıdır. Nitrifikasyon ise oksijenli solunum yapan bakteriler tarafından amonyumun önce nitrite daha sonra nitrata dönüşmesi olayıdır. Topraktaki mikrobiyolojik aktiviteler (nitrifikasyon ve denitrifikasyon) sonucunda azotun atmosfere amonyak (NH_3), nitriözdioksit (N_2O) ve azot (N_2) gazı olarak salındığı ortaya konulmuştur (Cameron ve ark., 2013).

Topraktan salınan nitröz oksit (N_2O) gazının sebebinin nitrifikasyon, çoğunlukla da denitrifikasyondan kaynaklandığı belirtilmektedir (Senbayram ve ark 2009). Organik madde içeriği yüksek olan topraklarda, oksijen miktarına bağlı olarak, toprağın denitrifikasyon hızı artabilmektedir. Denitrifikasyon hızını kontrol eden önemli parametrelerden biri ise toprak nem durumu (sulama ve yağışa bağlı) ve topraktaki yarayışlı organik madde (kolay ayrışabilen: şeker, karbonhidrat vd.) miktarıdır (Kammann ve ark., 2012).

Toprakta bitki köklerinin varlığı rizosfer bölgesinde fiziksel ve kimyasal değişikliklere neden olduğu için bu durum nitrifikasyon ve denitrifikasyon gibi mikrobiyal aktivitelerin sonucunda N_2O emisyonlarını etkilemektedir (Guyonnet ve ark., 2017).

Bitki kökü sızıntılarının denitrifikasyon oranlarını etkilediği, denitrifikatörler için organik C sağladığı, köklerden ve mikrobiyal solunumdan kaynaklanan O_2 seviyesinin az veya olmaması durumunda denitrifikasyon oranının artabileceği bunun da N_2O salımınım artırdığı bilinmektedir (Bakken, 1988; Hayashi ve ark., 2015).

Denitrifikasyon sonucunda hangi gazın (NO, N_2O veya N_2) son ürün olacağı genel olarak topraktaki NO_3^- miktarına bağlıdır (Senbayram ve ark. 2012). Çiftlik gübreleri uygulanmış ya da organik maddece zengin olan topraklara verilen azotlu gübrelerin sera gazı olan nitröz oksit (N_2O) emisyonunu arttırdığı bilinmektedir.

Bu çalışmada, GAP bölgesi gibi yüksek pH değerine sahip olan tarımsal arazilerde, arpa kök aktivitesinin (rizosfer etkisi) denitrifikasyon ve nitrifikasyon nedeni ile meydana gelen gaz kayıplarının ve arpa kök aktivitesinin azotlu gaz kayıplarına (N_2O ve N_2) etkisini incelemek ve uygulanan azot formuna göre (üre, amonyum-sülfat, potasyum nitrat) oluşacak gaz salınımlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Azotlu gübrelerin sera gazı olan N_2O emisyonunu hangi gübre çeşidinde salınımın daha az gerçekleştiğini belirlemek ve bölge topraklarına uygun azotlu gübre çeşidini önermek, bu sayede üreticinin uygun dozda gübre almasını sağlamak böylece atmosfere salınan sera gazı emisyonunu azaltarak başta dünyamıza özelde ise iklim değişikliğine sebep olan nedenlerin azaltılması amaçlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Doğada Azot Döngüsü ve Bitkinin Azot İhtiyacı

Genel olarak toprağın rizosfer bölgesinde %0.1 ile %0.6 arasında azot bulunmaktadır. Bu oran toprak tipine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Azot toprakta 4 farklı biçimde içermektedir.

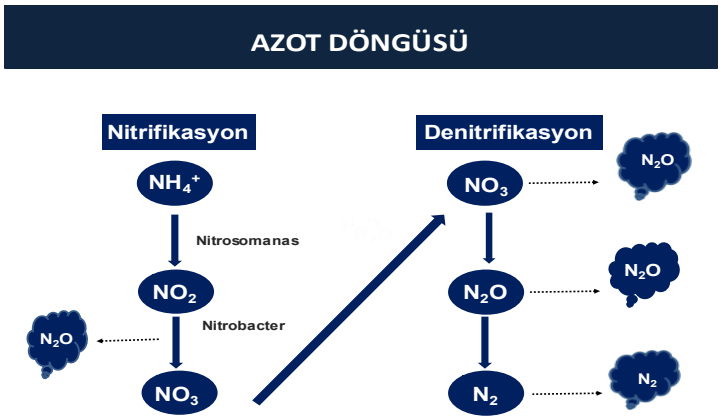
1)Bitki materyali, humus ve mantarlar gibi ana etmeni organik madde olan etmenler.

2)Mikroorganizmalar ve toprak organizmaları

3)kil mineralleri organik madde tarafından tutulan amonyum, nitrat, nitrit olmak üzere azot formları bulunmaktadır. Nitrifikasyon; Toprakta amonyumun oksidasyonu sonucu ilk olarak nitrite daha sonra kimyasal reaksiyon ile nitrata dönüşmesi olayıdır.

Nitrifikasyonun gerçekleşmesi için ortam pH 4.5-7.5 arasında gerçekleşmektedir . Nitrifikasyonda görev alan bakterilerin toprakta en az 25 °C de en fazla ise 30°C de aktif duruma geçtiği bilinmektedir. Nitrifikasyon 5 °C'nin altındaki sıcaklıklarda nitrifikasyon hızı daha yavaş meydana gelecektir (Haynes ve ark.,1986).

Denitrifikasyon; Oksijenin olmadığı veya az olduğu anaerobik toprak koşullarının olduğu zayıf drenajlı topraklarda meydana gelir. Bu koşullar altında anaerobik bakteriler solunum esnasında elektron alıcısı olarak oksijen yerine nitrat (NO_3) kullanırlar. Böylece nitrat indirgenerek ilk olarak nitrite sonra nitröz oksite (N_2O) ve son olarak (N_2) dinitrojene dönüşerek topraktan gaz olarak kaybolur (Firestone, 1982; Dobbie ve Smith, 2001; Bateman ve Baggs, 2005).



Şekil 2. 1. Azot döngüsü

Azotlu gübre uygulamaları sonrasında toprakta kayıplar yaşanmaktadır. Gaz halinde N_2 ve N_2O olarak atmosfere salınmaktadır. Nitröz oksit sera gazı CO_2 ile kıyaslandığında 300 kat daha fazla ısıyı absorbe etme potansiyeline sahiptir (Thomson ve ark., 2012). Sera gazı emisyonları okyanuslar, enerji santralleri ve araçlardan kaynaklanırken topraktan salınan sera gazları ise nitrifikasyon ve denitrifikasyon aktiviteleri neden olmaktadır (Cameron ve ark., 2013).

Toprakta amonyum konsantrasyonunu toprak nem içeriği etkilemektedir. Düşük nem içeriklerinde amonyum konsantrasyonu daha yüksek olur buna bağlı olarak emisyon kayıpları gerçekleşir. Düşük neme sahip topraklarda gübre çözünme hızı ve hidrolizi daha yavaş gerçekleşecek buda daha az emisyon kaybına neden olacaktır (Al-Kanan ve ark., 1991).

Toprak üstüne uygulanan üre gübresi , kimyasal reaksiyona girerek amonyak (NH3) gazı olarak topraktan buharlaşmaktadır. Bu buharlaşma artışında toprak pH ’sında bir artış gözlenebilmektedir (Sommer ve ark., 2004). Bu süreç üre uygulamasından sonra 3-4 gün boyunca gerçekleşir daha sonra nitifikasyon aktivitesi ile toprak pH’sı düşmeye başlar buda topraktan salınan gazların oranını düşürür (Cameron ve ark., 2013).

Toprak ve hava sıcaklıkları , üre gübresinin toprakta çözünme hızını ve gaz olarak salınımını etkilemektedir (Black ve ark., 1985; McGarry ve ark., 1987). Tarla koşulları altında, gübrenin hidrolizi ve emisyon hızının en yüksek olduğu zaman dilimi günün en sıcak saatleri olduğu belirlenmiştir. Toprakta gerçekleşen azot kayıpları ; toprak yapısı, gübre uygulaması, nem miktarı ve iklim faktörlerine göre değişkenlik gösterebilmektedir(Cameron ve ark., 2013).

Bitkilerin azot kaynağı olarak amonyum ile beslenmeleri durumunda rizosfer pH'sında azalma gözlemlenebilmektedir. Bitki , kökleri yardımı ile amonyumu alır. Amonyumun bir kısmı köklerde organik bileşiklerin bünyesinde kullanılır. Bitki tarafından alınan amonyum ihtiyaç olan yerlere gider. Amonyum miktarı artınca ; vakuollerde depolanabilmekte ve bu durumda pH'nın azalması ile (NH_3) amonyak kaybını azaltmaktadır (Güneş ve ark.., 2007).

2.2. Toprakta Azot Dengesizliğinin Bitkiler Üzerindeki Etkisi

Bitkide, optimum gelişme için bitki kuru maddesinde bulunması gereken N miktarı yaklaşık olarak %3-%5 arasındadır. Bitkide azot eksikliğinde, sararmalar, bitki gelişiminin olumsuz etkilenmesi, kardeşlenmenin yetersiz kalması, zayıf sapa sahip olması ve diğer besin elementleri alımını olumsuz etkilemektedir. Azot eksikliğinde çiçeklenme ,olgunlaşma dönemleri erkenden başlar buda tanelerin iyi olgunlaşmasına olumsuz etki yapar ve verimi miktarı düşük olur.

Azot eksikliğinin önüne geçebilmek için iklim koşulları dikkate alınarak ekimden yapılmadan 4-5 ay önce 1-2 ton/da ahır gübresi kullanılabilir veya ekimden sonra 2 veya 3 uygulama olacak şekilde azotlu gübreleme yapılabilir.

Aşırı azotlu gübre uygulamalarında ise maddi olarak ve çevre kirliliğinin yanında bitki gövdesinde zayıflamalar aşırı boy uzaması ve verimde kayıplar yaşanmaktadır. Bitkiler koyu yeşil rengine döner, yaprak uçlarında kloroz ve nekrozlar görülür, çiçeklenme ve hasat vakti daha çok uzar, meyveler tatsız olur ve erken meyve dökmeye başlar.

2.3. Arpa Bitkisinde Azotlu Gübreleme Zamanı ve Miktarı

Bitki ekiminden gelişiminin tamamlanmasına kadar olan süreç, bitki çeşidine ve iklim şartlarına göre uzun veya daha kısa süreçlerde gelişim gösterebilirler. Kısa dönem bitkileri çimlenme zamanları daha az fakat büyüme dönemlerinde daha fazla besin maddesine gereksinim duyarlar. Toprakta azot hareketli yapıya sahiptir. Bitkinin ihtiyaç duyduğu safhadan daha önce azotlu gübre uygulanırsa ya topraktan yıkanarak ya da gaz olarak topraktan kaybolur. Az veya orta yağışlı iklime sahip yerlerde, hızlı büyüyen bitkinin ihtiyacı olan azot miktarı kadar ve çok yağışlı bölgelerde ise yavaş büyüyen bitkinin gereksinimi kadar azotlu gübreleme yapılmalıdır. Gübreleme, bölünerek birkaç uygulama ile toprağa verilmelidir. Bitkiler azotu, amonyum ve nitrat (NH_4^+ ve NO_3^-) formlarında bünyelerine alabilmektedir. Bitkilerin bünyesinde nitrat miktarı genellikle amonyumun miktarından daha fazladır. Bitkinin çeşidi, yaşı ve çevresel şartlara göre azotun alımı farklılıklar görülebilmektedir. Özellikle düşük pH'nın olduğu topraklarda nitrat alımı, yüksek pH'da ise amonyumlu gübre uygulaması önerilmektedir.

Üst gübreleme, kardeşlenme döneminde bitkinin sapa kalkma safhasına kadar uygulana gübrelemedir. Arpada ekimle beraber taban gübresi uygulanırken azotta verilmektedir. Üst gübreleme zamanında, toprak üstüne uygulanacak azot miktarının yarısı uygulanmalı ve kalan azot ihtiyacı yağışlardan önce kardeşlenme döneminde uygulanmalıdır. Yağışı yetersiz bölgelerde sulama olmadan yapılan yetiştiricilikte üst gübre tek uygulamada, yeterli yağışa sahip olan veya sulama yapılan yerlerde ise üst gübre uygulaması iki veya üç defada yapılması önerilmektedir. Yeterli yağış veya sulamaya sahip bölgelerde başaklanma evresinde de üst gübreleme yapılması önerilmektedir. GAP bölgesinde üründen daha fazla verim almak amacıyla ihtiyaç duyulandan daha fazla gübre uygulanmaktadır, bundan dolayı ürün yatmakta veya çeşitli hastalıkların artmasına neden olmaktadır (Güneş ve ark., 2007).

2.4. Azotlu Gübreler ve Sebep Oldukları Sera Gazı Emisyonları

GAP bölgesinde yaygın olarak kullanılan azotlu üst gübreler; üre, Potasyum nitrat (KNO_3) , kalsiyum amonyum nitrat (CAN) ve amonyum sülfat (AS) iken, kullanılan taban gübreleri de 20.20.0, 15.15.15 kompoze gübreler ve 18-46 diamonyum fosfat kullanılmaktadır.

Azotlu gübre çeşitlerinden üre gübresi %46 saf N içeriğine sahiptir. Üre gübresinde ki azot organik bileşik olduğundan, bakteriler yardımı ile bitkiye yarayışlı hale gelebilmesi için nitrat ve amonyum formunda olması gerekmektedir. Bu süreç zamana alacağı için azotlu gübreler arasında bulunan üre diğer azotlu gübrelere nispeten daha erken üretim yapılacak alana uygulanmalıdır. Üre gübresinde amonyum ve nitrat bileşikleri olduğu için bir üreticiye hem ekonomik hem de verim yönünden kar sağlayacağı için kullanılması önerilmektedir

Üreticiler arasında şeker gübresi olarak adlandırılan AS gübresi %21 N içermektedir. Bu gübredeki azot formu amonyum olduğundan topraktaki yarayışlı fosfor alımını olumlu yönde etkilediği bilinmektedir

Toprağa uygulanan azotlu gübreler, uygun ortam koşullarında mikroorganizmaların aktiviteleri sonucu N_2O'ya dönüşerek sera gazı salınımına neden olmaktadır. Bunun sonucunda artan azotlu gübre kullanımı sera etkisi yaratmakta ve iklim değişikliğinin oluşmasına neden olmaktadır (Butterbach-Bahl, 2013). Atmosfere salınan azot oksit (N_2O), karbondioksitten (CO_2) 300 kat daha etkilidir. Bu durum küresel ısınmaya aynı zamanda da stratosferik ozon tabakasının yok edilmesinde rol oynamaktadır (Ravishankara ve ark., 2009).

Gerçekleştirilen başka bir çalışmada ise bitki kök bölgesindeki pH'nın azot formlarına göre amonyum (NH_4^+) ve nitratın (NO_3^-) bitki tarafından alınımı esnasında rizosfer bölgesinde toprak pH'sının değiştiği gözlemlenmiştir. Bitki tarafından amonyum (NH_4^+) alınırken bitki toprağa H^+ iyonu vererek bitki bünyesine amonyumu (NH_4^+) alabilmektedir. Bitki tarafından salınan OH^- iyonu toprak pH'sını düşürdüğü, nitrat (NO_3^-) 'ın ise bitki bünyesine alırken ortama bir OH^- iyonu verdiği böylelikle toprakta H^+ iyonu konstrasyonu arttığı ve rizosfer bilgesinde

toprak pH değerinin yükseldiği görülmüştür (Mikkelsen, 2014).

Bitki köklerinin yaklaşık 15 mm çevresini kaplayan bölgeye rizosfer denir. Kök bölgesi bitki besin elementlerinin alımı için rekabetçi bir ortamdır. Kök bölgesine yaklaştıkça mikroorganizmalar ve kök solunumu sonucunda oksijen miktarında azalma gerçekleşir. Organik madde, bitki köklerinden rizosfer bölgesine salınır, kök bölgesinden uzaklaştıkça azalır. Kök bölgesinde besin kaynağı olarak kullanılan organik maddenin daha fazla olmasından dolayı mikroorganizmaların varlığı toprağın diğer bölgelerine göre daha fazladır. Su bitki kök bölgesinde, bitkinin ihtiyacına göre azalma veya artış gösterebilir. Rizosfer pH'sı, bitki kök bölgesinden uzaklaştıkça değişir çünkü bitkinin mineral alımı rizosfer bölgesinin pH'sını etkilemektedir (Kuzyakov ve Razavi, 2019).

Azot , toprakta birçok kimyasal reaksiyonlarda önemli bir yere sahiptir. Azot döngüsü olarak bilinen kimyasal olaylar zinciri temel olarak; amonifikasyon, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve azot fiksasyonu olarak dört süreçte gerçekleşmektedir (Bernhard, 2010). N_2O emisyonlarından ise iki mikrobiyal aktivite sorumludur: bunlar toprak kökenli mikroorganizma faaliyetleri sonucu meydana gelen nitrifikasyon ve denitrifikasyondur. Bu süreçler, özellikle toprak nemi ve sıcaklığı, havalanma durumu, amonyum ve nitrat konsantrasyonları, karbon miktarı ve pH ile yakından ilişkilidir (Smith ve ark., 1998).

Asidik ve bazik toprak kullanarak gerçekleştirilen bir çalışmada ise pH' nın N_2O ve N_2 gazları salınımına etkisi incelenmiştir. Asidik toprak örneğine göre bazik topraklardaki gaz salınımlarının yaklaşık olarak aynı olmasına rağmen salınan gazlardan N_2O hacminin azaldığı, N_2 gazının hacminin miktarının artığı görülmüştür. Araştırmanın sonucundan anlaşılacağı gibi pH'ın N_2O ve N_2 gazlarının salınımı üzerine büyük bir etkiye sahip olduğu görülmüştür (Stevens ve ark., 1998).

Tarımsal arazilerde azot kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalarda toprağa

uygulanan azotun %30-50 sinin denitrifikasyonla kaybolabileceği ortaya konulmuştur (Jagnow ve Söchting, 1983). Dolayısıyla tarım alanlarında topraklarda N_2O emisyonunun temel kaynağı denitrifikasyon olarak belirlenmiştir (Benckiser ve ark., 1986; Weiske ve ark., 2001).

Yapılan bir başka çalışmada sadece azotlu gübreleme uygulaması denitrifikasyonda önemli derecede değişikliğe neden olmamış, toprağa glikoz (C) ilavesiyle NO_3-N denitrifikasyonu büyük ölçüde artmıştır (Blackmer ve Bremmer, 1978). Toprakta karbon (C) içeriği, nitratın(NO_3) N_2'ye indirgenme aşamalarının tümü için elektron vericisi olduğundan, toprak karbonu (C) kullanılabilirliği, denitrifikasyon oranını düzenleyen en kritik faktörlerden biridir (Burford ve Bremner, 1975).

Organik gübre uygulamalarının N_2O emisyonları üzerindeki etkileri, inorganik gübrelere kıyasla daha yüksek N_2O emisyonlarına neden olmaktadır. Organik gübreler kararlı karbon (C) bileşikleri içermelidir, aksi takdirde toprakta mikrobiyal ayrışma daha hızlı gerçekleşmektedir. Kolayca parçalanabilen organik karbon bileşikleri denitrifikatörler için enerji sağlayarak denitrifikasyonu tetikleyebilir (Burford ve Bremner, 1975; Firestone, 1982; Weier ve ark., 1993).

Denitrifikasyon sonucu meydana gelen NO, N_2O, N_2 emisyonlarının nötr ve hafif alkali topraklarda (optimum 6.5-8 pH) asidik topraklara kıyasla daha yüksek olduğu bulunmuştur. Organik maddenin ayrışma hızının pH' dan olumsuz etkilenmesi nedeniyle asidik topraklarda denitrifikasyonun engellendiği görülmüştür (Simek ve Cooper, 2002;.Kammann ve ark., 2012). Denitrifikasyon hızını kontrol eden en önemli parametre redox potansiyelidir. Toprak redox potansiyeli ise, toprak nem durumu (sulama ve yağış) ve topraktaki yarayışlı organik madde miktarı ile yakından ilişkilidir. Topraktaki nem oranı, N_2O salınımını önemli derecede arttırabilmektedir. Dolayısıyla denitrifikasyon sonucu meydana gelen N_2O oranı artış göstermiştir. Nemli topraklarda karbon içeriğine göre denitrifikasyon oranları artabilir (Zhong ve ark., 2018).

Tarımsal alanlarda kullanılan azotlu gübreleme sonucu N_2O salınımında, topraktaki denitrifikasyon yolunun son adımı olan N_2O indirgeme yolu araştırılmış ve bu yolun İlk olarak, toprak pH' ısının etkilediği ve pH 6.8'den düşük olduğunda kademeli olarak azaldığı gözlemlenmiş. Yapılan Saha deneyleri sırasında, asidik toprakların kireçlenmesinin N_2O salınımının azalmasına olumlu tepki verildiği daha verimli hale getirdiğini ve toprak N_2O emisyonlarını azalttığını gözlemlenmiştir (Hénault ve ark., 2019).

Denitrifikasyon sonucu NO, N_2O, N_2 emisyonlarının nötr ve hafif alkali topraklarda (optimum 6.5-8 pH) asidik topraklara göre daha yüksek olduğu belirtilmiş ve denitrifikasyonun organik maddenin parçalanma hızının pH'da olumsuz etkilenmesi nedeniyle asidik topraklarda engellediği öngörülmüştür (Simek ve Cooper, 2002).

Tarım yapılan arazilerde denitrifikasyon miktarı orman topraklarına göre daha yüksek olma eğilimindedir ve en yüksek denitrifikasyon miktarının azot ile gübrelenmiş topraklarda veya nitrat miktarının yüksek olduğu alanlarda denitrifikasyonun fazla olduğu belirtilmektedir (Barton ve ark., 1999)

3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

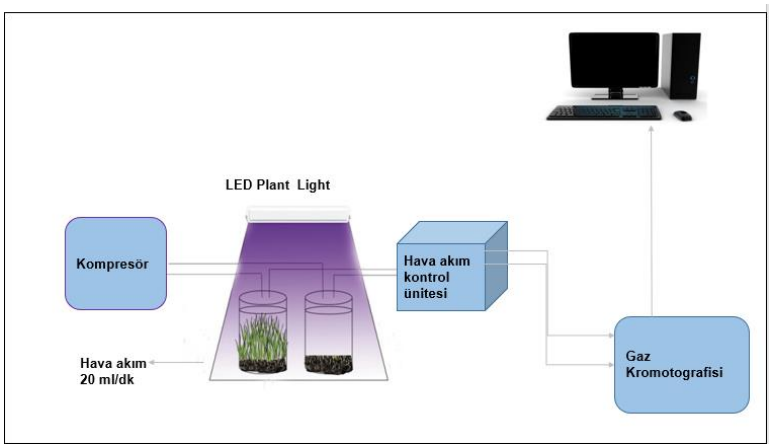
3.1.1. Araştırma Materyali

Araştırmada Harran Üniversitesi Osman Bey Kampüsü deneme alanından alınan pH'sı 7,9 ve toplam organik karbonu %1,9 düzeyindeki alkali topraklar kullanılmıştır. Araştırma bitkisi olarak GAP Bölgesinde yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan arpa bitkisi (Barış çeşidi) kullanılmıştır. Barış çeşidi, GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü tarafından 2012 yılında Diyarbakır'da ıslah edilmiştir (Özberk ve ark., 2016). Araştırmada azotlu gübreleme için, GAP bölgesinde de yaygın olarak kullanılan potasyum nitrat, amonyum nitrat ve üre gübreleri kullanıldı.

İnkübasyon çalışmasında şeffaf pleksiglass malzemeden yapılmış çapı 140 mm ve boyu 200 mm olan inkübasyon çemberleri kullanıldı. İnkübasyon sisteminde hava akışını sağlamak amacıyla hava kompresörü, hava akımının yönlendirilmesi için seçici VICI-VALCO (Houston, Amerika) valfi, sera gazı emisyonlarının ölçülebilmesi için gaz kromotagrafisi (SRI-8610-0040 Greenhouse Gas GC System, Amerika) kullanıldı. Kullanılan gaz kromotagrafisi temel olarak, CO_2, N_2O ve CH_4 tespiti için tasarlanmıştır. Ayrıca örneklerden gelen gaz döngüsünde, bu gazları düşük ve yüksek konsantrasyonlarda da ölçebilmektedir. Ölçülen gaz konsantrasyonları denklem 3.1'den yararlanılarak hesaplanmıştır (Zhijun Wei ve ark. 2020).

3.1.2. Denemenin Kurulduğu Yer ve Tarih

Deneme, Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümünde, Toprak Kimyası ve Bitki Besleme laboratuvarından bulunan tam otomatik inkübasyon sisteminde, 29.04.2020 ile 22.05.2020 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 1. Çalışmada kullanılan inkübasyon sistemi (ROFLOW)

3.2.Yöntem

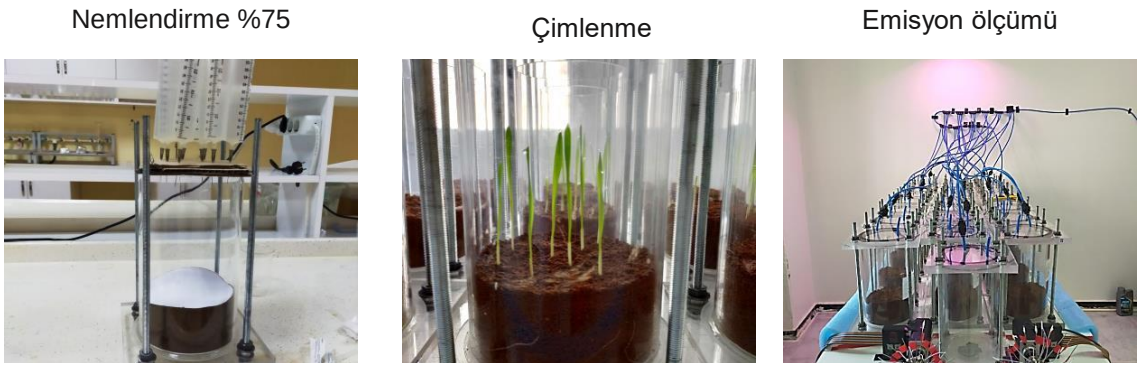
3.2.1 Deneme Metodu ve Uygulama

Deneme, robotik sürekli akım toprak-denitrifikasyon inkubasyon sisteminde gerçekleştirildi. Araştırmada çıplak ve arpa ekili toprak olmak üzere iki grup oluşturuldu. Araştırma, her iki grup için azotlu gübre uygulanmayan kontrol grubu ve 3 farklı azotlu gübre çeşidinin uygulandığı toplamda 4 ayrı konu 3 tekerrürlü olacak şekilde yürütülmüştür. Uygulamalar için 24 inkübasyon çemberi kullanılmış olup, hiçbir uygulamanın yapılmadığı içinde toprak bulunmayan 1 inkübasyon çemberi ile birlikte toplamda 25 inkübasyon çemberi kullanılmıştır.

Çizelge 3. 1. Denemede yapılacak uygulamalar

	Kısa İsmi	Toprak	Azot Formu	Azot Dozu
1	ÇCK	Çıplak toprak	Yok	-
2	ÇKN	Çıplak toprak	Potasyum nitrat	200 mg N kg toprak^{-1} (12 kg dekar^{-1})
3	ÇAS	Çıplak toprak	Amonyum sülfat	200 mg N kg toprak^{-1} (12 kg dekar^{-1})
4	ÇÜR	Çıplak toprak	Üre	200 mg N kg toprak^{-1} (12 kg dekar^{-1})
5	BCK	Arpa ekili toprak	Yok	-
6	BKN	Arpa ekili toprak	Potasyum nitrat	200 mg N kg toprak^{-1} (12 kg dekar^{-1})
7	BAS	Arpa ekili toprak	Amonyum sülfat	200 mg N kg toprak^{-1} (12 kg dekar^{-1})
8	BÜR	Arpa ekili toprak	Üre	200 mg N kg toprak^{-1} (12 kg dekar^{-1})

Çalışmada inkübasyon çemberlerine yoğunluğu 1.3 g/cm^{-3} olacak şekilde toprak eklendikten sonra toprak nemi %75 düzeyine getirildi. 3 günlük ön-inkübasyon süresinden sonra her bir inkübasyon çemberine 8 adet arpa tohumu ekildi. Arpa ekimi yapıldıktan sonra çimlenme zamanına kadar bekletildi. Bitkilerin ihtiyacı olan ışık enerjisi için fotosentetik led ışık kullanıldı. Çimlenme gerçekleştikten sonra Çizelge 3.1'de belirtilen formda ve dozda azotlu gübreler 50 ml'lik süspansiyon halinde toprak yüzeyine uygulandı. Kontrol uygulamalarında eş zamanlı 50 ml saf su uygulaması yapıldı. Daha sonra her bir inkübasyon çemberinin kapağı gaz geçirmeyecek şekilde kapatıldı ve çemberlerden çıkan hava akımı 20 ml/dakika^{-1} olacak şekilde ile ayarlandı. İnkübasyon çemberlerinden çıkan havanın, iki adet çok pozisyonlu VICI-VALCO (Houston, Amerika) seçici valf yardımı ile tek tek gaz kromotagrafisi cihazına (SRI-8610-0040 Greenhouse Gas GC System, Amerika) aktarılması sağlandı. Cihazda bulunan elektron yakalayıcısı detektörü ile (ECD) inkübasyon çemberlerinden çıkan havada ki CO_2 ve N_2O konsantrasyonu ölçüldü. Emisyon sonuçlarına göre dekardan (N g da^{-1}) N_2O biçiminde ne kadar azot kaybı gerçekleştiği tespit edildi.



Şekil 3. 2. Deneme kurulum aşamaları

3.2.2. Toprak analizleri

3.2.2.1. Toprakta Nitrat (NO_3^-) Analizi

Toprakta nitrat (NO_3^-)analizi ; deneme öncesi, gübre uygulamasından 10 gün sonra ve deneme sonunda her bir saksıda olmak üzere toprak nitrat (NO_3^-) içerikleri (Yang ve ark., 1998)'ta belirtildiği gibi yapıldı. Analiz yöntemine göre toprak örnekleri 2M KCl çözeltisi ile (1/4 g/g) bir saat çalkalandı ve Whatman mavi bant filtre kâğıdı kullanılarak süzülme işlemi yapıldı. Daha sonra 1 ml süzüğe 0.5 ml TRI çözeltisi eklendi ve hafifçe çalkalanıp hotplate üzerinde örneklerin tamamen kurutulması sağlanıldı. Daha sonra örnekler 1 ml konsantre H_2SO_4 ile çözdürüldükten sonra, örneklerin soğuması için beş dakika bekletilip örneklerin üzerine 5 ml saf su eklendi. Örnekler çalkalama işleminden sonra soğumaya bırakıldı ve daha sonra üzerlerine 5 ml %40'lık NaOH eklendi. Elde edilen çözelti içersindeki nitrat (NO_3^-) miktarı spektrofotometrede 410 nm dalga boyunda örneklerin absorbans değerleri okutularak hesaplandı.

3.2.2.2. Toprakta Amonyum (NH_4^+) Analizi

Toprakta amonyum (NH_4^+) analizi; deneme öncesi, gübre uygulamasından 10 gün sonra ve deneme sonunda her bir saksıda olmak üzere NH_4^+ içerikleri (Baethgen and Alley, 1989)'da belirtildiği gibi yapıldı. Analiz yöntemine göre toprak örnekleri 2M KCl çözeltisi ile (1/4 g/g) bir saat çalkalanıp Whatman mavi bant filtre kâğıdı kullanılarak süzülme işlemi yapıldı. Daha sonra 1 ml süzüğe 5.5 ml tampon çözelti (Baethgen ve Alley, 1989) eklenerek ve örnekler karıştırıldıktan sonra üzerine 4 ml salicylate/nitroprusside solüsyonu eklendi. Daha sonra örneklere 2 ml hypochlorite solüsyonu eklenip karıştırılıp, 45 dakika oda sıcaklığında bekletildikten sonra spektrofotometrede 650 nm'de dalga boyunda örneklerin absorbans değerleri okutularak torpakta amonyum (NH_4^+) miktarı (2M KCl ile çözülebilir NH_4^+) hesaplandı.

3.2.3. Gaz Ölçümlerin Değerlendirmesi

Silindirlere giren ve çıkan havada bulunan nitröz oksit (N_2O) konsantrasyonları aynı laboratuvarda bulunan ve daha önce özelikleri verilen gaz kromotagrafisi yardımı ile ölçülmüştür. Ölçümlerde temel olarak her bir inkübasyon aparatına giren ve çıkan hava arasındaki konsantrasyon farkından yararlanılarak, silindirlerde topraktan salınan N_2O miktarı hesaplanmıştır (Köster ve ark., 2013). Ölçümlerde N_2O miktarı azot oksit termal iletkenlik detektörü (TCD) ile saptanmıştır. Ölçülen gaz konsantrasyonları denklem 3.2.3'den yararlanılarak hesaplanmıştır (Zhijun Wei ve ark. 2020).

$$F = \frac{C*flow\ rate*60*24}{A*10^6} * \frac{M*273}{Mv*(273+T)} \qquad (3.2.3)$$

F= N_2O, N_2 veya CO_2 emisyonu g N veya C ha − 1 gün − 1

C= N_2O, N_2 veya CO_2 gazı konsantrasyonu

Flow rate (akış hızı)= ml /dk

60*24=zaman dönüşümleri(dakika – gün)

A= toprak yüzey alanı(ha) 10^6 hacim dönüşümü ppm

M= N veya C molar kütlesinin ağırlığı

Mv= Gazın molar hacmi 273 K ve 101.325 KPa'da (L / mol)

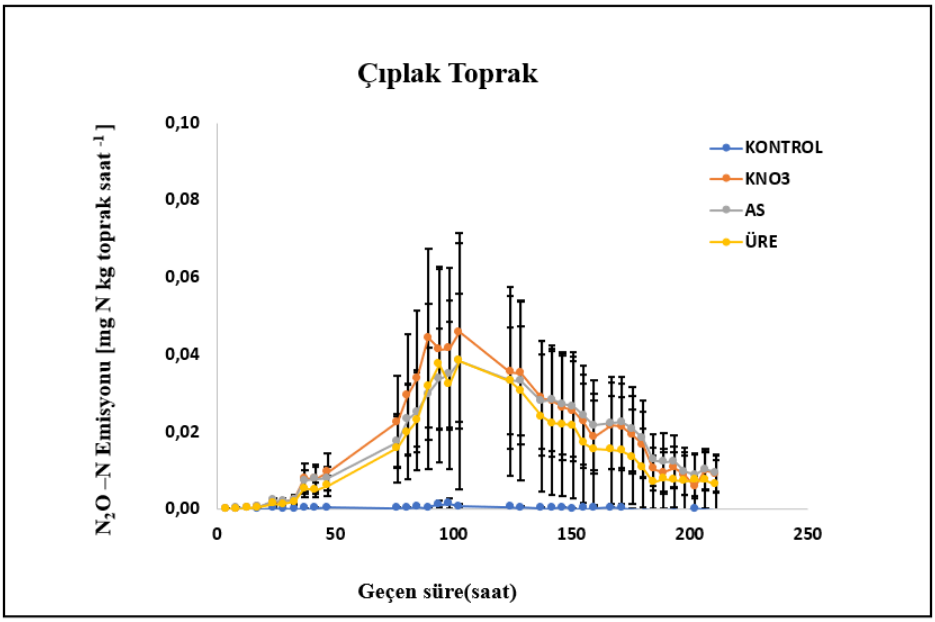
T= İnkübasyon kaplarındaki ortalama sıcaklıktır (° C)

3.2.4. İstatistik Değerlendirme

Deneme boyunca gözlemlenen parametrelerin ortalamaları ve standart hata değerleri belirlenip ve sonuçlar grafikler halinde verilmiştir. Ayrıca toprakta toplam nitrat ve amonyum analizleri ve N_2O emisyonuna ilişkin veriler deneme desenine göre Tukey HSD Çoklu Karşılaştırma istatistik programında varyans analizi yapılarak ve ortalamalar arasındaki farklılıklar ($P<0.05$) Tukey testi ile karşılaştırılmıştır.

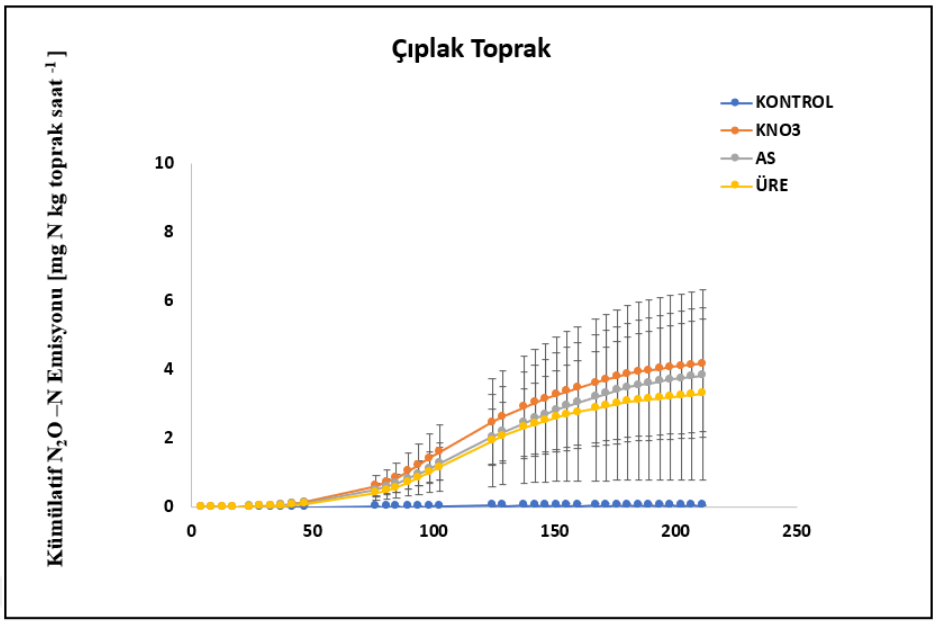
4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Toprağa uygulanan farklı azotlu gübrelerin , Amonyum sülfat , Üre ve Potasyum nitrat ile yapılan gübre uygulamalarının arpa ekilen alan ve çıplak topraklarda meydana gelen N_2O emisyonuna etkisini belirlenmesi amacıyla yürütülen çalışmaya ilişkin sonuçlar incelendiğinde genel olarak bitki varlığında gübre çeşidine göre N_2O salınımının daha fazla gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bitki olmayan topraklarda N_2O salınımı bitki yetiştirilen topraklara göre mikrobiyal aktivite (nitrifikasyon ve denitrifikasyon) ile salınım gerçekleştiği görülmüştür.



Çıplak Toprak: Bitki olmayan toprak; Kontrol: Gübresiz toprak; KNO_3:12 kg/da Potasyum Nitrat uygulaması; AS: 12 kg/da Amonyum Sülfat uygulaması; Üre:12 kg/da Üre uygulaması

Şekil 4. 1. Zamana bağlı olarak toprakta meydana gelen N_2O salınımı

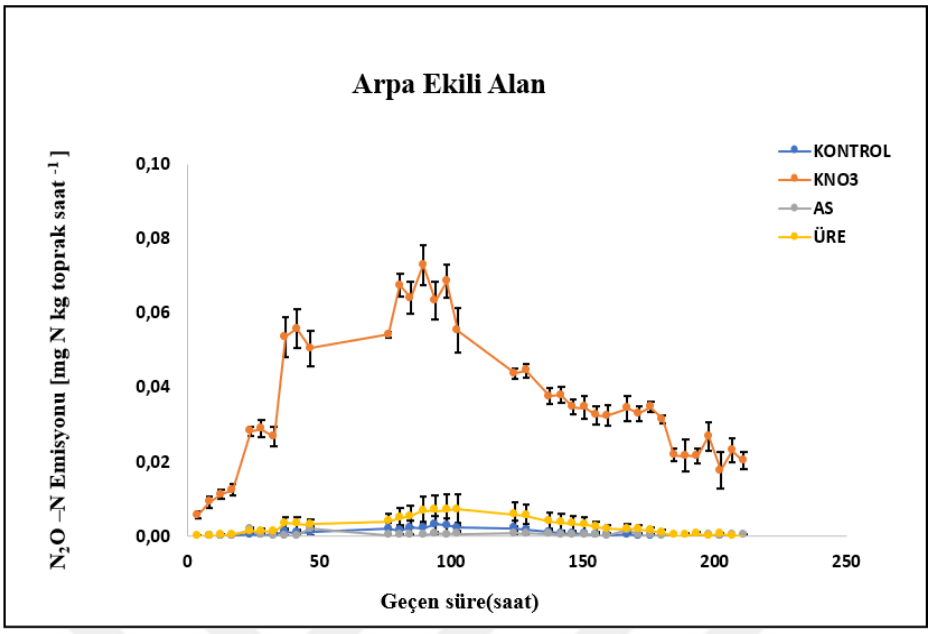


Çıplak Toprak: Bitki olmayan toprak; Kontrol: Gübresiz toprak; KNO3:12 kg/da Potasyum Nitrat uygulaması; AS: 12 kg/da Amonyum Sülfat uygulaması; Üre:12 kg/da Üre uygulaması

Şekil 4. 2. Zamana bağlı olarak toprakta meydana gelen ortalama kümülatif N_2O salınımı

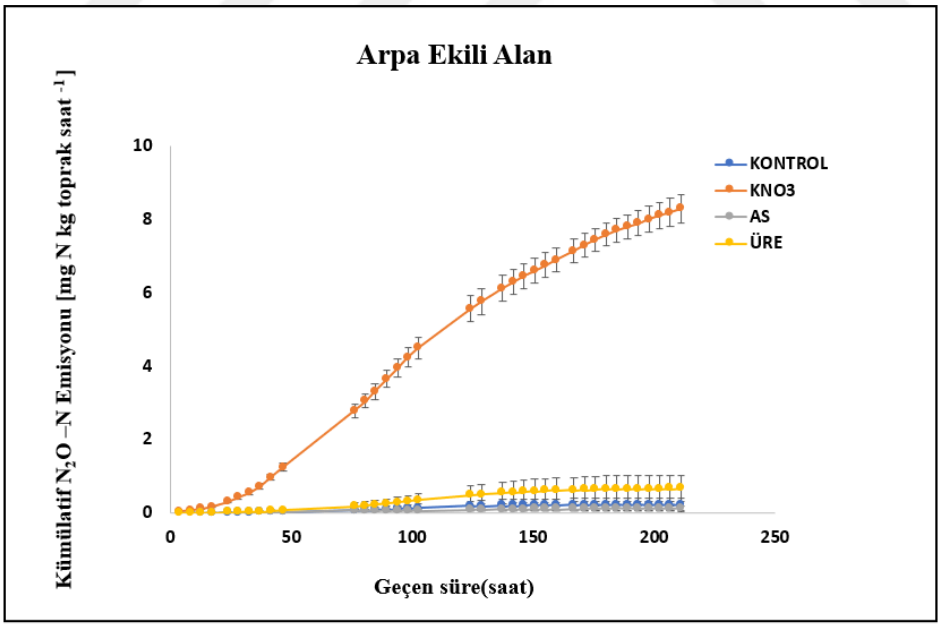
Şekil 4.1. incelendiğinde genel olarak ilk 2 gün (50. saate kadar) N_2O salınımında nispeten yavaş bir artış olduğu daha sonra emisyonun zamanla artığı 100.saatte maksimum değerlere ulaştığı görülmektedir. Deneme kurulduktan yaklaşık 10 gün(~200 saat) sonra N_2O salınımı azalmıştır. Maksimum seviyeye ulaşan salınım değerlerine ulaşıldıktan sonra salınım devam etmiş fakat miktarı gittikçe azalmaya başlamıştır. Bu durum zamana bağlı olarak topraktan salınan ortalama kümülatif emisyon değerlerini gösteren şekil 4.2'de belirgin şekilde görülmektedir. Şekil 4.2. incelendiğinde 200. saate kadar görülen artışın maksimum seviyeye ulaştığı görülmüştür. Daha sonra salınım miktarının nerede ise sabitlediği, sonra da tekrar salınım miktarında genel bir azalma olduğu saptanmıştır.

Daha önce yapılan bazı çalışmalarda toprağa uygulanan azotlu gübreler, uygun ortam koşullarında mikroorganizmaların aktiviteleri sonucu N_2O'ya dönüşerek sera gazı salınımına neden olduğu belirtilmiştir (Butterbach-Bahl, 2013).Yürüttüğümüz çalışmamızda da uygulanan farklı azotlu gübrelerin sera gazı salınımına neden olduğu şekil 4.1. ve şekil 4.2. ' de açıkça görülmüştür.



Arpa Ekili Alan: Bitki yetiştirilen toprak; Kontrol: Gübresiz toprak; KNO_3:12 kg/da Potasyum Nitrat uygulaması; AS: 12 kg/da Amonyum Sülfat uygulaması; Üre:12 kg/da Üre uygulaması

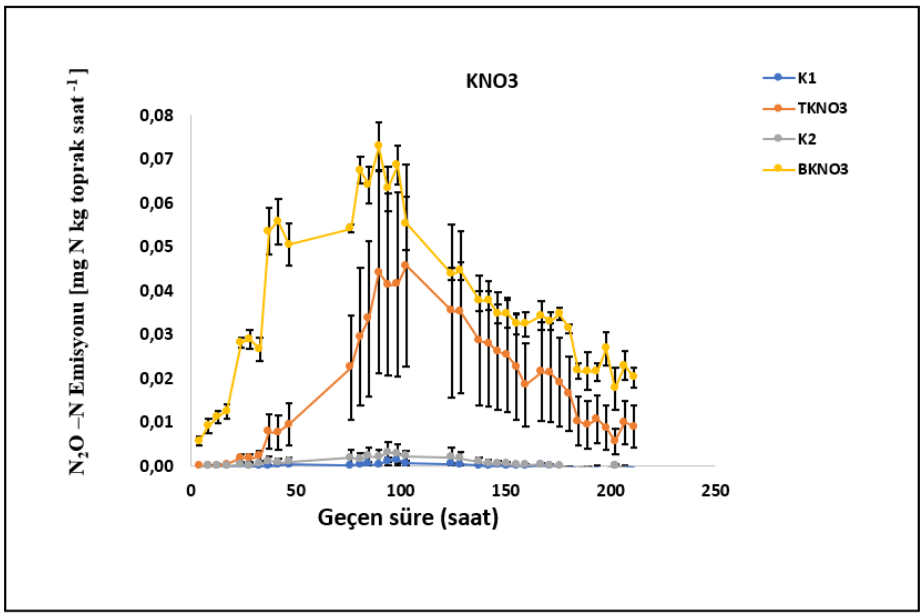
Şekil 4. 3. Zamana bağlı olarak toprakta meydana gelen N_2O salınımı



Arpa Ekili Alan: Bitki yetiştirilen toprak; Kontrol: Gübresiz toprak; KNO_3:12 kg/da Potasyum Nitrat uygulaması; AS: 12 kg/da Amonyum Sülfat uygulaması; Üre:12 kg/da Üre uygulaması

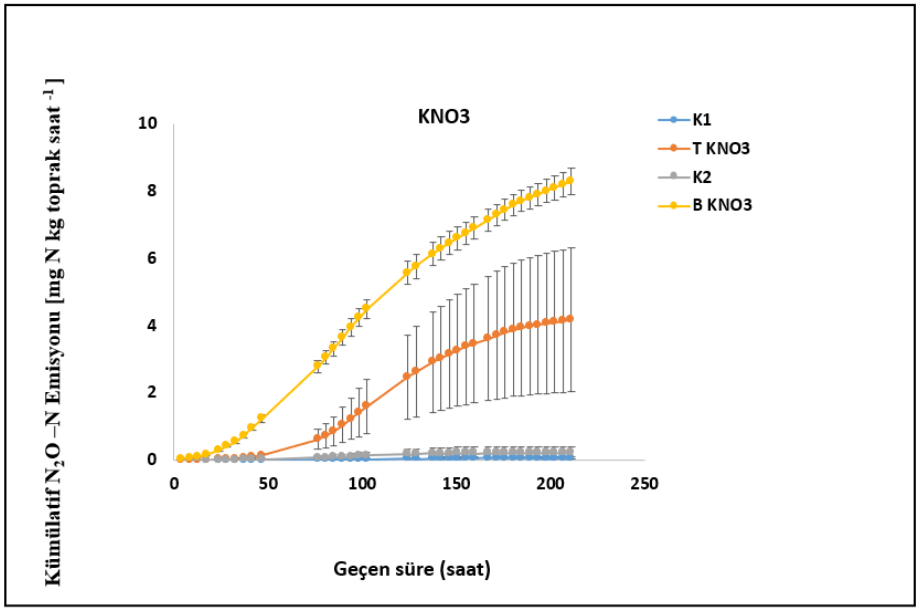
Şekil 4. 4. Zamana bağlı olarak toprakta meydana gelen ortalama kümülatif N_2O salınımı

Şekil 4.3. İncelendiğinde genel olarak ilk 50. saate kadar KNO_3 uygulanan saksılarda diğer uygulamalara göre N_2O salınımında daha fazla artış olduğu daha sonra emisyonun zamanla artığı 100.saatte maksimum değerlere ulaştığı görülmektedir. Diğer uygulamalarda salınım kontrol grubu seviyesine yakın N_2O salınımı gözlenmiştir. Deneme kurulduktan yaklaşık ~200 saat sonra N_2O salınımı zamanla azalmıştır. Bu durum zamana bağlı olarak topraktan salınan ortalama kümülatif emisyon değerlerini gösteren şekil 4.4."de belirgin şekilde görülmektedir. Şekil 4.4. incelendiğinde 200. saate kadar görülen artışın özellikle KNO_3 uygulanan saksılarda salınımın maksimum seviyeye ulaştığı görülmüştür. Daha sonra salınım miktarının sabitlendiği saptanmıştır.



KNO_3:12 kg/da Potasyum Nitrat uygulaması; K1:Bitkisiz ve gübresiz Kontrol ; K2:Bitkili ve gübresiz kontrol ; $TKNO_3$:Bitkisiz toprakta Potasyum nitrat uygulaması ; $BKNO_3$:Bitkili toprakta KNO_3 uygulaması

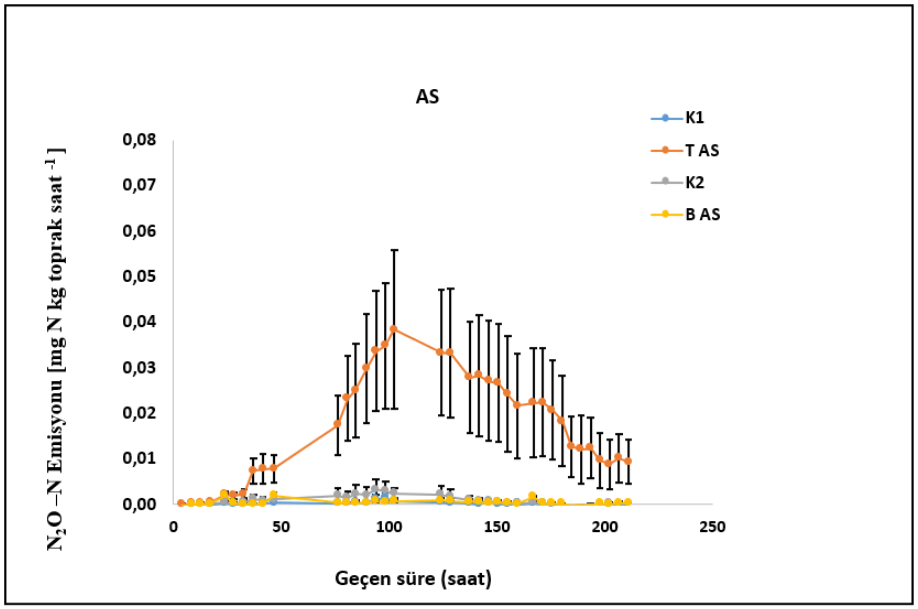
Şekil 4. 5. KNO_3 uygulanan toprakta zamana bağlı olarak N_2O salınımı



KNO_3:12 kg/da Potasyum Nitrat uygulaması; K1:Bitkisiz ve gübresiz Kontrol ; K2:Bitkili ve gübresiz kontrol ; $TKNO_3$:Bitkisiz toprakta Potasyum nitrat uygulaması ; BKNO3:Bitkili toprakta KNO_3 Uygulaması

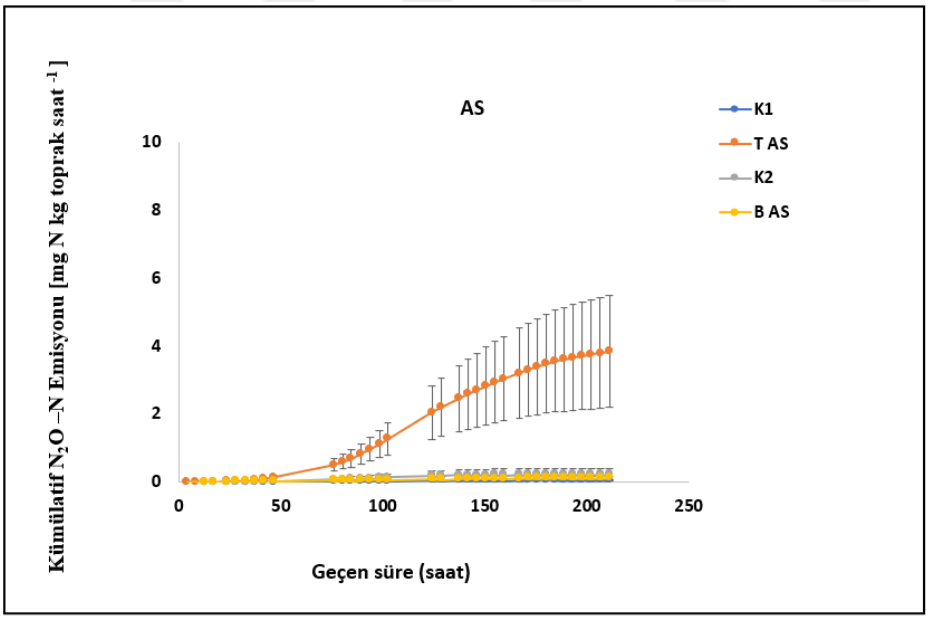
Şekil 4. 6. Zamana bağlı olarak KNO_3 uygulanan toprakta kümülatif N_2O salınımı

Potasyum Nitrat (KNO_3) gübre uygulamalarında arpa ekili alan ile çıplak toprakta zamana bağlı olarak N_2O emisyonlarına ilişkin veriler karşılaştırılmalı olarak şekil 4.5. ve şekil 4.6. 'da verilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalara göre toprakta kök bölgesinde gerçekleşen sera gazı salınımı, mikrobiyal aktiviteler, toprak nemi, sıcaklığı, oksijen miktarı, amonyum-nitrat konsantrasyonları, karbon miktarı ve toprak rizosfer pH'sı ile ilişkilidir (Smith ve ark., 1998). Verilere göre arpa ekilen alanda rizosfer etkisi ve mikrobiyal aktivite sonucu N_2O salınımı çıplak toprağa göre daha fazla salınım gerçekleştiği açık bir şekilde görülmüştür.



AS:12 kg/da Amonyum sülfat uygulaması; K1:Bitkisiz ve gübresiz Kontrol ; K2:Bitkili ve gübresiz kontrol ; T AS :Bitkisiz toprakta Amonyum sülfat uygulaması ; B AS: Bitkili toprakta Amonyum sülfat uygulaması

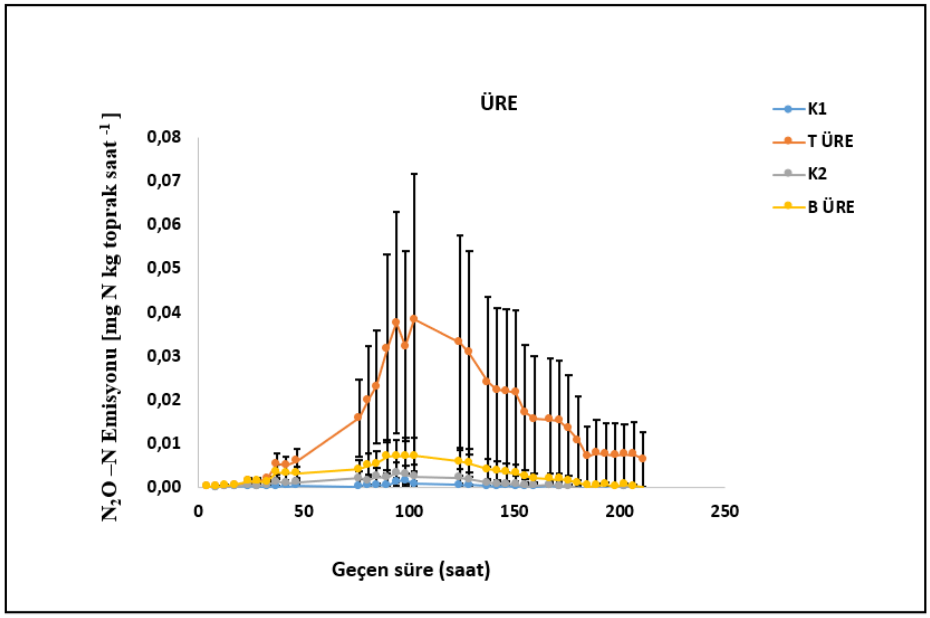
Şekil 4. 7. AS uygulanan toprakta zamana bağlı olarak N_2O salınımı



AS:12 kg/da Amonyum sülfat uygulaması; K1:Bitkisiz ve gübresiz Kontrol ; K2:Bitkili ve gübresiz kontrol ; T AS :Bitkisiz toprakta Amonyum sülfat uygulaması ; B AS: Bitkili toprakta Amonyum sülfat uygulaması

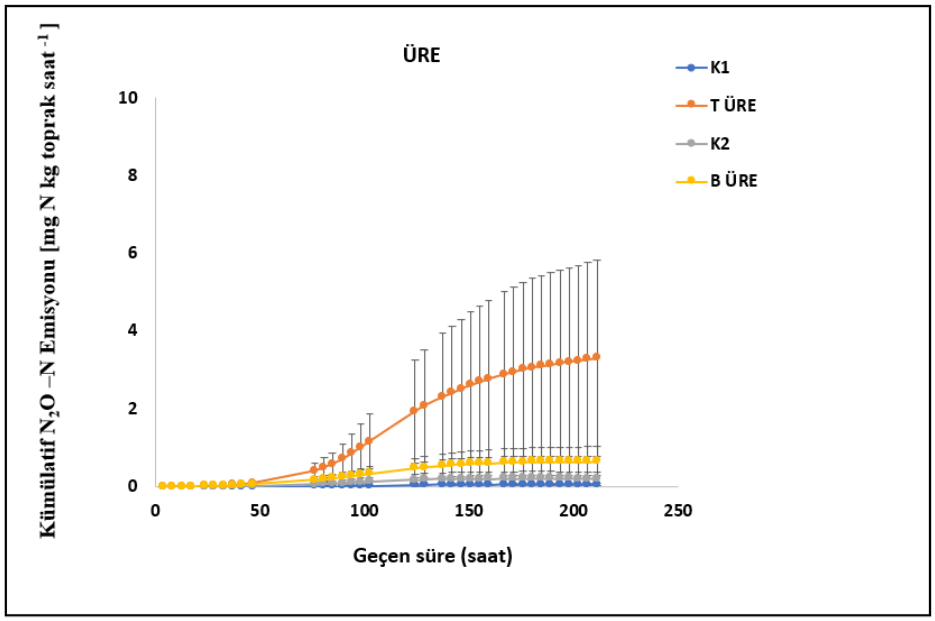
Şekil 4. 8. Zamana bağlı olarak AS uygulanan toprakta kümülatif N_2O salınımı

Amonyum sülfat ve üre gübre uygulamalarında arpa ekili alan ile çıplak toprakta zamana bağlı olarak N_2O emisyonlarına ilişkin veriler incelendiğinde şekil 4.7. ve şekil 4.8. , şekil 4.9. ve şekil 4.10'da verilmiştir. Verilere göre arpa ekilen alanda N_2O salınımı çıplak toprağa göre daha az salınım gerçekleştiği açık bir şekilde görülmüştür.



ÜRE:12 kg/da Üre uygulaması; K1:Bitkisiz ve gübresiz Kontrol ; K2:Bitkili ve gübresiz kontrol ; T ÜRE :Bitkisiz toprakta Üre uygulaması ; B ÜRE: Bitkili toprakta Üre uygulaması

Şekil 4. 9. Üre uygulanan toprakta zamana bağlı olarak N_2O salınımı



ÜRE:12 kg/da Üre uygulaması; K1:Bitkisiz ve gübresiz Kontrol ; K2:Bitkili ve gübresiz kontrol ; T ÜRE :Bitkisiz toprakta Üre uygulaması ; B ÜRE: Bitkili toprakta Üre uygulaması

Şekil 4. 10. Zamana bağlı olarak ÜRE uygulanan toprakta kümülatif N_2O salınımı

Genel olarak gübre uygulamasıyla bitki varlığından kaynaklanan N_2O emisyonunda belirgin bir şekilde salınımı gübre çeşidine göre etkilediği gözlemlenmiştir. Bitki kök aktivitesi ve gübre çeşidine göre salınımların arttığı çalışma sonunda gözlenmiştir.

Çizelge 4. 1. Tukey HSD Çoklu Karşılaştırma Testi

VK	SD	KT	KO	F-hesap	p
Grup	1	200958	200958	2.13	0.164
Uygulamalar	3	3848988	1282996	13.59	0.000***
Zaman	2	374907	187454	1.63	0.211
Grup*uygulamalar	3	356613	118871	1.26	0.322
Grup*Zaman	2	206714	103357	0.9	0.416
Uygulamalar*Zaman	6	953736	158956	1.39	0.251
ID(Grup. Uygulamalar)	16	1510724	94420		
Grup*uygulamalar*Zaman	6	877659	146276	1.27	0.296
Hata	32	3671667	114740		
Genel	71	12001967			

Çizelge 4. 2. Tukey HSD Çoklu Karşılaştırma Testi NO_3 ($p<0.05$)

	NO_3	
	n	O±SH
KNO3	18	628.237 ± 154.60 [a]
AS	18	136.748 ± 31.980 [b]
KONTROL	18	18.843 ± 1.543 [b]
ÜRE	18	180.516 ± 43.051 [b]

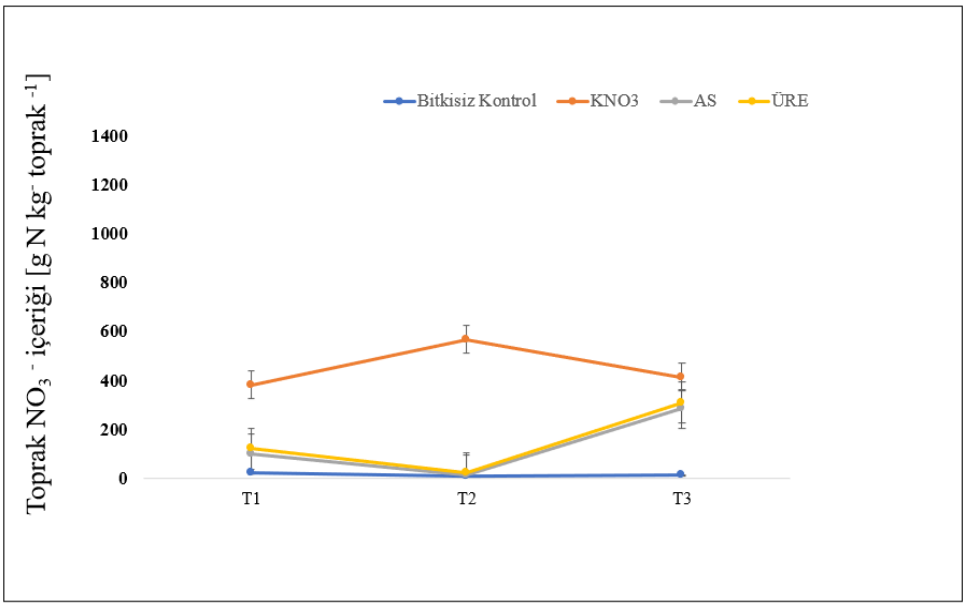
Çizelge 4. 3. NO_3 Tanımlayıcı İstatistikler

		NO_3					
		n	Min	Maks	Ortalama	Std. S	Std. H
Grup	Bitkili	36	8.428	604.583	188.255	196.272	32.712
	Bitkisiz	36	18.018	3135.599	293.917	546.488	91.081
Uygulamalar	AS	18	11.870	374.746	136.748	135.679	31.980
	KNO3	18	70.237	3135.599	628.237	654.045	154.160
	KONTROL	18	8.428	33.035	18.843	6.548	1.543
	ÜRE	18	17.102	638.903	180.516	182.649	43.051
Zaman	T1	24	19.267	3135.599	274.855	644.894	131.638
	T2	24	8.428	604.583	140.803	213.962	43.675
	T3	24	9.084	745.497	307.600	209.418	42.747

Çizelge 4. 4. NH_4 Tanımlayıcı İstatistikler

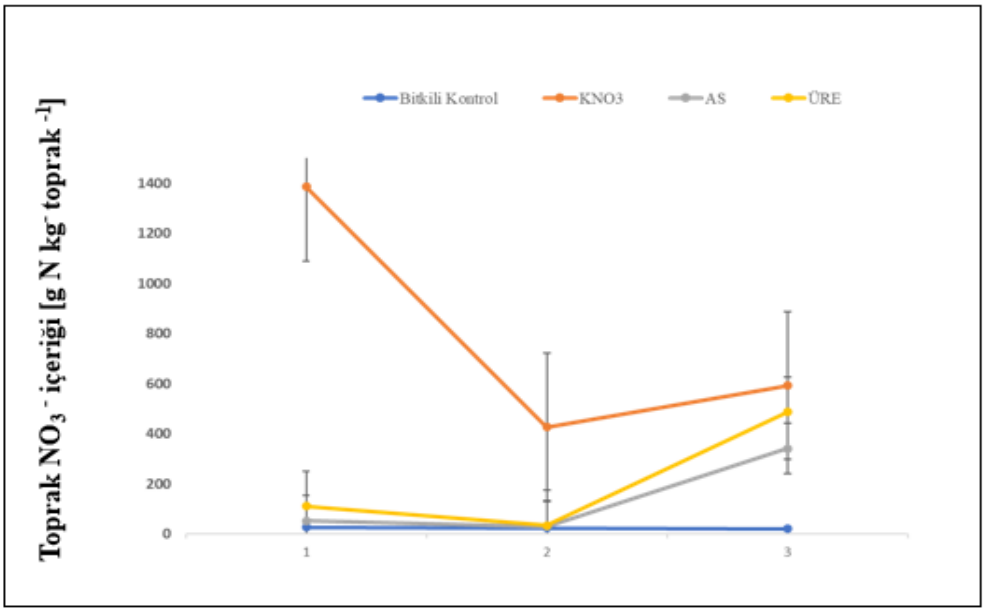
		NH_4					
		n	Min	Maks	Ortalama	Std. S	Std. H
Grup	Bitkili	36	0.058	1106.933	147.071	263.384	48.909
	Bitkisiz	36	0.031	532.311	64.644	118.454	21.996
Uygulamalar	AS	18	0.127	853.939	156.901	233.134	56.543
	KNO3	18	0.031	1106.933	109.926	315.125	90.969
	KONTROL	18	0.184	108.750	17.323	28.693	7.669
	ÜRE	18	0.199	410.493	127.385	146.370	37.793
Zaman	T1	24	1.954	532.311	72.617	134.751	29.405
	T2	24	4.708	1106.933	179.619	279.708	57.095
	T3	24	0.031	147.184	23.380	49.136	13.628

Yapılan istatistik analizlerinde 2 yönlü tekrarlı ölçümler varyans analizi yapılmıştır. NO_3 açısından uygulamalar arasında anlamlı bir fark görülürken ($p<0.05$); diğer uygulama ve etkileşim etkileri anlamlı bulunamamıştır ($p>0.05$). NH_4 açısından herhangi bir faktörün etkisinin bulunamadığı müşahede edilmiştir ($p>0.05$). Tukey HSD çoklu karşılaştırma testine göre, uygulamalardan KNO_3 en yüksek (628.237 ± 154.160a), As, Kontrol ve Üre ortalamaları aynı olup en düşük ortalamaya sahip olduğu görülüştür ($p<0.05$).



T1;15.04.2020 tarihinde alınan toprak örneklerinde nitrat içeriği, T2;15.05.2020 tarihinde alınan toprak örneklerinde nitrat içeriği, T3;28.05.2020 tarihinde alınan toprak örneklerinde nitrat içeriği

Şekil 4. 11 Arpa Bitkisi ekili alanda zamana bağlı olarak toprakta NO_3^- miktarı



T1;15.04.2020 tarihinde alınan toprak örneklerinde nitrat içeriği, T2;15.05.2020 tarihinde alınan toprak örneklerinde nitrat içeriği, T3;28.05.2020 tarihinde alınan toprak örneklerinde nitrat içeriği

Şekil 4. 12 Çıplak toprakta zamana bağlı olarak toprakta NO_3^- miktarı

Toprakta nitrat birikiminin, toprağa uygulanan azotlu gübrelerin formu ve uygulama miktarıyla doğrudan etkili olduğu belirtilmektedir (Marschner., 1984). Yapılan birçok çalışmada toprağa uygulanan azotlu gübre miktarına bağlı olarak toprakta mikroorganizmaların amonyumu nitrata dönüştürme (nitrifikasyon) oranının da arttığı belirtilmiştir (Güleryüz ve ark., 2007). Nitrifikasyonu etkileyen etmenler arasında organik madde varlığı ve azot miktarı önemli rol oynamaktadır (Güleryüz ve Everest., 2010).

Topraktan salınan N_2O emisyonunun kaynağı denitrifikasyon (Şenbayram ve ark., 2012) ve toprağa uygulanan saf azotun sadece %50-60'ı bitkiler için faydalı sağlarken %50-40 'ı yıkanma, NH_3 ve N_2 (g), denitrifikasyon gibi çeşitli yollarla topraktan kaybolmaktadır (Sağlam, 1975; Müftüoğlu ve Demirer, 1998) .

Deneme devam ederken (15.05.2020 tarihinde) alınan toprak örneklerinde nitrat analizleri yapılmıştır. Toprakta KNO_3 uygulaması ile en yüksek nitrat içeriğine ulaşılmıştır. Diğer gübre formlarına göre toprakta biriken nitrat miktarı farklılıklar

gözlemlenmiş olup bununda toprakta mikrobiyal aktiviteye bağlı olduğu düşünülmüştür. KNO_3 uygulamalarında bitki ve bitkisiz alanlarda salınımın daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4. 5. N_2O Varyans Analizi

VK	SD	KT	KO	F-hesap	p
Grup	1	3.270	3.269	0.950	0.330
Uygulama	3	1249.180	416.394	121.160	0.000***
Grup*Uygulama	3	558.260	186.087	54.150	0.000***
Hata	820	2818.050	3.437		
Genel	827	4641.350			

Çizelge 4. 6. Tukey HSD Çoklu Karşılaştırma Testi N_2O ($p<0.05$)

UYGULAMALAR	n	O+SH
KNO3	212	3.415 ± 0.2094[a]
ÜRE	211	1.0313 ±0.1348 [b]
AS	209	0.9870 ±0.1183 [b]
KONTROL	196	0.0890 ±0.0110 [c]

Çizelge 4. 7. İki Yönlü Anova Karşılaştırma Testi N_2O ($p<0.05$)

Grup	Uygulama	n	Ortalama ± SH
Bitkili	Kontrol	100	0.1387 ± 0.0201 [c]
Bitkisiz	Kontrol	96	0.0377 ± 0.0035 [c]
Bitkili	KNO3	108	4.6078 ± 0.2905 [a]
Bitkisiz	KNO3	104	2.1767 ± 0.2508 [b]
Bitkili	ÜRE	104	0.3880 ± 0.0434 [c]
Bitkisiz	ÜRE	107	1.6565 ± 0.2484 [b]
Bitkili	AS	101	0.0745 ± 0.0068 [c]
Bitkisiz	AS	108	1.8411 ± 0.1962 [b]

Gaz verilerine iki yönlü ANOVA uygulanmıştır. Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre Gaz salınımına etkisi bakımından gruplar arasında anlamlı bir fark görülemezken ($p>0.05$), uygulamalar arasında anlamlı bir farkın olduğu ve grup*uygulama etkisinin anlamlı olduğu görülmüştür ($p<0.05$).

Etkileşim etkisinin anlamlı bulunmasından kaynaklı etkilemiş etkisi incelenmiştir. Tukey HSD çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre bitkili*KNO_3 en

büyük ortalamaya sahip iken, Bitkili*As Bitkili*Kontrol Bitkili*Üre Bitkisiz*Kontrol etkileri en küçük ortalamaya sahip olduğu görülmüştür ($p<0.05$). Bununla birlikte fikir vermesi açısından sadece uygulamalar arası farklar incelendiğinde KNO_3'ün en büyük kontrol faktörünün en küçük ortalamaya sahip olduğu gözlemlenmiştir ($p<0.05$).

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Sera gazı salınımının, uygulanan azotlu gübrelerde bulunan azot formuna (NH_4^+ ve NO_3^-) bağlı olduğu ve PN, AS ve Ü gübre uygulamaları sonrasında arpa ekili alkali toprakta N_2O salınımının bitkili toprakta, bitkisiz olana göre çok daha az olduğu görülmüştür. Bu sonucun özellikle Ü gübre uygulamasıyla öne çıktığı görülmüş olup, bunda bitki kök aktivitesinin sera gazı salınımındaki azaltıcı rolünden kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Bitkili ortamdaki en yüksek gaz salınımının PN uygulamasında olduğu belirlenmiştir.

5.2. Öneriler

Artan azotlu gübre kullanımının getirdiği çevresel sorunlar ve bitkisel üretimde artan ekonomik yük dikkate alınarak intensif tarım yapılan bölgemiz çiftçisi için PN ve AS yerine ÜRE gübresinin kullanımı önerilmektedir. Ancak toprakta nitratın denitrifikasyonu, N_2O bileşiklerine dönüşme hızı ve oluşan gazların cins ve miktarının önemli ölçüde toprak, mikrobiyal aktivite, rizosfer bölgesi, farklı bitki ve iklim faktörlerinin etkisi altında olduğu dikkate alınarak; öncelikle arazi koşullarında daha detaylı araştırmaların yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

BAETHGEN, W. E., ve Alley, M. M., 1989. A manual colorimetric procedure formeasuring ammonium nitrogen in soil and plant Kjeldal digests. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 20(9-10): 961-969.

BAGGS, E. M., 2011. Soil microbial sources of nitrous oxide: recent advances in knowledge, emerging challenges and future direction. Current Opinion in Environmental Sustainability, 3(5): 321-327.

BAKKEN, L. R., 1988. Denitrification under different cultivated plants: effects of soil moisture tension,nitrate concentration, and photosynthetic activity. Biology and fertility of soils, 6(4): 271-278.

BARAN, A. R. A. S., ve UYGUN, S., 2017. Azotlu Gübreleme Esasları ve Arpada Azotlu Gübreleme. Ziraat Mühendisliği, (364): 18-29.

BARTON, L., MCLAY, C. D. A., SCHİPPER, L. A., ve SMİTH, C. T., 1999. Annual denitrification rates in agricultural and forest soils: a review. Soil Research, 37(6): 1073-1094.

BENCKİSER, G., HAİDER, K., ve SAUERBECK, D., 1986. Field measurements of gaseous nitrogen losses from an Alfisol planted with sugar-beets. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 149(3): 249-261.

BERNHARD, A. E., 2010. The Nitrogen Cycle: Processes, Players, and Human Impact. Nature Education Knowledge, 3 (10): 25.

BLACKMER, A. M., ve BREMNER, J. M., 1978. Inhibitory effect of nitrate on reduction of N_2O to N_2 by soil microorganisms. Soil Biology and Biochemistry, 10(3): 187-191.

BLANKENSHİP, E., ve MADİGAN, M. T., 2006. Discoveries in Photosynthesis, Volume 20, Advances in Photosynthesis and Respiration. Photosynthesis Research, 87: 235-239.

BURFORD, J. R., ve BREMNER, J. M., 1975. Relationships between the denitrification capacities of soils and total, water-soluble and readily decomposable soil organic matter. Soil biology and biochemistry, 7(6): 389-394.

BUTTERBACH-BAHL, K., BAGGS, E. M., DANNENMANN, M., KİESE, R., ve ZECHMEİSTER-BOLTENSTERN, S., 2013. Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls?. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 368(1621): 20130122.

CAMERON, K. C., Dİ, H. J., ve MOİR, J. L., 2013. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. Annals of applied biology, 162(2): 145-173.

FİRESTONE, M. K., 1982. Biological denitrification. Nitrogen in agricultural soils, 22, 289-326.

GULERYUZ, G., ve EVEREST, A., 2010. Nitrogen mineralization in the soils of the conifer forest communities in the Eastern Mediterranean. Ekoloji, 19(74):51-59.

GUYONNET, J. P., VAUTRİN, F., MEİFFREN, G., LABOİS, C., CANTAREL, A. A., MİCHALET, S., ve HAİCHAR, F. E. Z., 2017. The effects of plant nutritional strategy on soil microbial denitrification activity through rhizosphere primary metabolites. FEMS microbiology ecology, 93(4): fix022.

GÜLERYÜZ, G., KİRMİZİ, S., ve ARSLAN, H., 2007. Nitrogen mineralisation in the soils of alpine mat communities: an incubation experiment under laboratory conditions. Turkish Journal of Botany, 31(4):277-286.

GÜNEŞ, A., ALPASLAN, M., ve İNAL, A., 2002. Bitki Besleme ve Gübreleme. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 1523, Ders Kitabı: 479. Ankara, 975-482-516-5.

ÖZBERK, F., KARAGÖZ, A., ÖZBERK, İ., ve AYHAN, A. T. L. I., 2016. Buğday genetik kaynaklarından yerel ve kültür çeşitlerine; Türkiye'de buğday ve ekmek. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 25(2): 218-233.

HÉNAULT, C., BOURENNANE, H., AYZAC, A., RATİÉ, C., SABY, N. P., COHAN, J. P., ve LE GALL, C., 2019. Management of soil pH promotes nitrous oxide reduction and thus mitigates soil emissions of this greenhouse gas. Scientific reports, 9(1): 1-11.

JAGNOW, G., ve SÖCHTİG, H., 1983. Nitrogen losses from the soil to the atmosphere and to ground water possible ways of limiting them a survey. Plant. Res. Develop, 17:68-78.

KAMMANN, C., RATERİNG, S., ECKHARD, C., ve MÜLLER, C., 2012. Biochar and hydrochar effects on greenhouse gas (carbon dioxide, nitrous oxide, and methane) fluxes from soils. Journal of environmental quality, 41(4): 1052-1066.

KARASAHİN, M., 2014. Effects of different irrigation methods and plant densities on nitrogen and irrigation water use efficiency in silage corn production. Crop Research (0970-4884: 47.

KÖSTER, J. R., WELL, R., TUZSON, B., BOL, R., DİTTERT, K., GİESEMANN, A., ve MOHN, J., 2013. Novel laser spectroscopic technique for continuous analysis of N_2O isotopomers–application and intercomparison with isotope ratio mass spectrometry. Rapid Communications in Mass Spectrometry, 27(1): 216-222.

KUZYAKOV, Y., ve RAZAVİ, B. S., 2019. Rhizosphere size and shape: Temporal dynamics and spatial stationarity. Soil Biology and Biochemistry, 135: 343-360.

LEBAUER, D. S., ve TRESEDER, K. K., 2008. Nitrogen limitation of net primary productivity in terrestrial ecosystems is globally distributed. Ecology, 89(2): 371-379.

MARSCHNER, H., 1984. Einfluβ von Standart und Wirtschaftsbedingungen auf die Nitratgehalte in Verschiedenen Pflanzenarten. Landwirtschaftliche Forschung Sonderheft: 41.

RAVİSHANKARA, A. R., DANİEL, J. S., ve PORTMANN, R. W., 2009. Nitrous oxide (N_2O): the dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. science, 326(5949):123-125.

SAĞLAM, M. T., 1975. Toprağa Tatbik Edilen Azotlu Gübrelerden Meydana Gelen Amonyak Şeklindeki Azot Kayıpları. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi: 6(2).

SENBAYRAM, M., CHEN, R., BUDAİ, A., BAKKEN, L., ve DİTTERT, K., 2012. N2O emission and the $N_2O/(N_2O+ N2)$ product ratio of denitrification as controlled by available carbon substrates and nitrate concentrations. Agriculture, Ecosystems ve Environment, 147: 4-12.

ŠIMEK, M., ve COOPER, J. E., 2002. The influence of soil pH on denitrification: progress towards the understanding of this interaction over the last 50 years. European Journal of Soil Science, 53(3): 345-354.

SMİTH, K. A., THOMSON, P. E., CLAYTON, H., MCTAGGART, I. P., ve CONEN, F., 1998. Effects of temperature, water content and nitrogen fertilisation on emissions of nitrous oxide by soils. Atmospheric Environment, 32(19): 3301-3309.

WEİ, Z., SHAN, J., CHAİ, Y., WELL, R., YAN, X., ve SENBAYRAM, M., 2020. Regulation of the product stoichiometry of denitrification in intensively managed soils. Food and Energy Security, 9(4): e251.

WEİER, K. L., DORAN, J. W., POWER, J. F., ve WALTERS, D. T., 1993. Denitrification and the dinitrogen/nitrous oxide ratio as affected by soil water, available carbon, and nitrate. Soil Science Society of America Journal, 57(1): 66-72.

WEİSKE, A., BENCKİSER, G., ve OTTOW, J. C. G., 2001. Effect of the new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in comparison to dicyandiamide (DCD) on nitrous oxide (N_2O) emission and methane (CH_4) oxidation during 3 years repeated application in field experiments. Nutr Cycl Agroecosys, 60: 57-64.

Wei, Z., Shan, J., Chai, Y., Well, R., Yan, X., ve Senbayram, M., 2020. Regulation of the product stoichiometry of denitrification in intensively managed soils. Food and Energy Security, 9(4): e251.

WU, D., WEİ, Z., WELL, R., SHAN, J., YAN, X., BOL, R., ve SENBAYRAM, M.,2018. Straw amendment with nitrate-N decreased $N_2O/(N_2O+ N_2)$ ratio but increased soil N_2O emission: A case study of direct soil-born N_2 measurements. Soil Biology and Biochemistry, 127: 301-304.

YANG, J. E., KİM, J. J., SKOGLEY, E. O., ve 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.

ZHONG, L., BOWATTE, S., NEWTON, P. C., HOOGENDOORN, C. J., ve LUO, D., 2018. An increased ratio of fungi to bacteria indicates greater potential for N2O production in a grazed grassland exposed to elevated CO2. Agriculture, Ecosystems ve Environment, 254: 111-116.