



**FARKLI ALAN KULLANIMLARINDA
N₂O (DİAZOT OKSİT) EMİSYONLARININ
BELİRLENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Rabia KONAKCI

Eskişehir 2019

**FARKLI ALAN KULLANIMLARINDA
N₂O (DİAZOT OKSİT) EMİSYONLARININ BELİRLENMESİ**

Rabia KONAKCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Zehra YİĞİT AVDAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ağustos 2019

Bu tez çalışması BAP Komisyonu tarafından kabul edilen 1804F095 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Rabia KONAKCI'nın “Farklı Alan Kullanımlarında N₂O (Diazot Oksit) Emisyonlarının Belirlenmesi” başlıklı tezi 09/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, Çevre Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvanı Adı Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Dr. Öğr. Üyesi Zehra YİĞİT AVDAN

Üye : Prof. Dr. Erdem Ahmet ALBEK

Üye : Prof. Dr. Semra GÜNAY AKTAŞ

.....

Prof. Dr. Murat TANIŞLI

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ÖZET

FARKLI ALAN KULLANIMLARINDA

N₂O (DİAZOT OKSİT) EMİSYONLARININ BELİRLENMESİ

Rabia KONAKCI

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ağustos 2019

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Zehra YİĞİT AVDAN

Bu tez çalışmasında; farklı alan olarak seçilen tarım, orman ve mera için azot miktarlarının ve C/N oranlarının toprak derinliğine bağlı derişimlerinin hesaplanması ve toprağın fiziksel özellikleri ile birlikte değerdendirilmesi ayrıca alanlardan alınan karotların ilk 10 cm’lik kısmında inorganik ve organik azot miktarlarının belirlenerek denitrifikasyon hızlarının hesaplanması amaçlanmıştır. Bu çalışma, Eskişehir, Muttalip Mevki’inde bulunan tarım (buğday, mısır, fiğ), mera alanlarında ve Eskişehir Yukarıkalabak Mevki’inde bulunan sık karaçam ormanları, tarım (buğday), mera alanlarında gerçekleştirilmiştir.

Bu kapsamda; çalışma sahasında iki farklı örnekleme yöntemi olan rastgele örnekleme ve ızgara örnekleme yöntemiyle alınan toprak örneklerinin derinliğe bağlı pH ve elektriksel iletkenlik, yığın yoğunluğu, nem içeriğı (gravimetrik analiz), partikül boyut dağılımı gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Modifiye Kjeldahl analizi ile toplam azot belirlenmiş ve C/N kullanılarak azotun derinliğe bağlı karakterizasyonu yapılmıştır. Matematiksel model ve DNDC modeli ile farklı alanlardan kaynaklı diazot oksit (N₂O) emisyon miktarları belirlenmiştir. Matematiksel modelle hesaplanan N₂O emisyon sonuçları Muttalip tarım alanlarında daha yüksek bulunmuştur. DNDC verilerine göre en yüksek GWP değeri buğday ekili tarım alanındadır.

Anahtar Sözcükler: Azot Döngüsü, Diazot Oksit Emisyonu, DNDC Modeli, Farklı Alan Kullanımı, Küresel İklim Değışikliği

ABSTRACT

DETERMINATION OF DENITRIFICATION EMISSIONS IN LAND-USE CHANGE

Rabia KONAKCI

Department of Environmental Engineering

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, August, 2019

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Zehra YİĞİT AVDAN

In this thesis; nitrogen forms of soil and C/N ratios for agriculture, forest, and pasture, which are selected as land-use change, are calculated according to soil depth and evaluated with the physical properties of soil. Also, the determination of the amount of inorganic and organic nitrogen in the first 10 cm of the cores taken from these areas was aimed to calculate the amount of dinitrogen oxide (N_2O) emission. This study was carried out in agriculture (wheat, corn, vetch) and pasture areas in Muttalip, Eskişehir, and forest, agriculture (wheat) and pasture in Yukarıkalabak, Eskişehir.

Physical properties such as pH and electrical conductivity, bulk density, moisture content (gravimetric analysis) and particle size distribution of the soil samples taken by random sampling and grid sampling method were determined in the study area. Total nitrogen was determined by the modified Kjeldahl analysis. Depending on the depth, the characterization of nitrogen was performed using C/N. With the mathematical model and DNDC model, dinitrogen oxide (N_2O) emissions were determined from different areas. N_2O emission results calculated by the mathematical model were highest in Muttalip agricultural areas. According to the DNDC data, the highest GWP value is in the cultivated wheat field.

Keywords: Nitrogen Cycle, Dinitrogen Oxide Emission, DNDC Model, Land Use Change, Global Climate Change

TEŞEKKÜRLER

“Farklı Alan Kullanımlarında N₂O (Diazot Oksit) Emisyonlarının Belirlenmesi” başlıklı tez çalışmamın ülkemizde tarım ve mera alanlarından kaynaklı emisyon miktarlarının belirlenmesi üzerine yapılan ilk çalışma olmasında desteğini her zaman hissettiğim, analiz yöntemlerini belirleme esnasında çalışmalarına cesaret veren ve tez sürecimin her anında sabırla yanımda olan Değerli Tez Danışman’ım Dr. Öğr. Üyesi Zehra Yiğit Avdan’a,

Tez çalışmam esnasında fikirleriyle ve güler yüzleriyle her zaman yanımda olan hocalarım Sayın Prof. Dr. Erdem Ahmet Albek, Sayın Doç. Dr. Serdar Göncü ve Sayın Öğr. Gör. Ruşen Yılmaz’a,

Çalışma alanlarının belirlenmesinde fikirlerini paylaşan Orman Toprak ve Ekoloji Araştırmaları Enstitüsü Müdürlüğü Baş Mühendisi Sayın Dr. Aydın Çömez ve Kalabak Orman İşletme Şefi Orman Mühendisi Sayın Ömer Oğlakkaya’ya,

Tez çalışmamın özellikle toprak örnekleme ve örneklerin analize hazır hale getirilmesi esnasında desteklerini esirgemeyen hocam Sayın Doç. Dr. Uğur Avdan, Sayın Nazım Erduran ve Sayın Fatih Öztürk’e,

Tez çalışmamın istatistiki yönden değerlendirilmesi esnasında tecrübesinden faydalandığım ve varlığını her zaman hissettiğim Değerli Hocam Doç. Dr. Betül Kan Kılınç’a,

Tane boyut analizlerinin gerçekleştirilmesinde yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Erhan Ayas ve Sayın Dr. Öğretim Üyesi Murat Kılıç’a,

Azot analizlerinin belirlenmesinde bilgisinden faydalandığım ve sorularıma her zaman sabırla cevap bulan Sayın Uskan Dinçol ve Sayın Cihan Teker’e

Aynı analiz laboratuvarını kullandığım çalışma arkadaşım Gülperi Evliyaoğlu’na

1804F095 no'lu Bilimsel Araştırma Projesini destekleyen Eskişehir Teknik Üniversitesi'ne,

Diazot oksit emisyon miktarını belirlemede DNDC programını öneren Sayın Philip Astles'e,

Tez esnasında tanıdığım güler yüzü ve içtenliğiyle her zaman desteklerini hissettiğim Sevgili Neslihan İrbeç ve Sevgili Mahmut Öztürk'e,

Varlıkları ile yüzümü güldüren değerli arkadaşlarım Havva Seven, Özge Gün ve Gözde Gün'e,

Tez sürecim boyunca gösterdiği manevi destek ile yükümü hafifleten sevgili arkadaşım Fatma Nur Eraslan'a

Lisans eğitimim de olduğu gibi yüksek lisans eğitimimde de bilgisiyle, hoşgörüsüyle desteğini esirgemeyen değerli arkadaşım Said Ertekin'e,

Hayatıma girdiği andan itibaren sevecenliğiyle, iyi niyetiyle, sabrıyla ve güleryüzü ile bana üçüncü kardeş olan Sevgili Akın Akınç'a,

Tezimin bitmesini sabırla bekleyen, ablalarına her zaman yürek dolusu sevgilerini hissettiren, yüzümü güldüren canım kız kardeşlerim Mukadder Konakcı ve Emine Nur Konakcı'ya,

Varlıklarına şükrettiğim kıymetli anneciğim ve babacığma,

En içten teşekkürlerimi sunarım.

Rabia KONAKCI

Ağustos 2019

Aziz Vatanım'a

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmamın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....

Rabia KONAKCI

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜRLER.....	v
TABLolar DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Çalışmaları	3
1.1.1. Azot miktarının belirlenmesine yönelik çalışmalar	3
1.1.2. N ₂ O (diazot oksit) emisyonunun belirlenmesine yönelik çalışmalar	7
2. ÖRNEKLEME YÖNTEMLERİ.....	11
2.1. Rastgele Kompozit Örneklemeye (Random composite sampling).....	11
2.2. Yönlendirilmiş Rastgele Kompozit Örneklemeye (Directed Random Composite Sampling)	12
2.3. Karşılaştırma Örneklemesi (Benchmark sampling)	12
2.4. Peyzaj Yönelimli Kıyaslama Örneklemesi (Landscape-Directed Benchmark Sampling).....	13
2.5. Izgara Örneklemesi (Grid Sampling)	14
3. TOPRAK AZOTU.....	15
3.1. Azot	15
3.2. Azot Analiz Yöntemleri.....	17

4. N ₂ O (DİAZOT OKSİT) EMİSYONUNUN EKOSİSTEME ETKİSİ.....	21
5. MATERYAL ve YÖNTEM.....	23
5.1. Çalışma Alanı.....	23
5.2. Arazi Çalışması.....	25
5.2.1. Eskişehir-Muttalıp Mevki’inde yapılan toprak örnekleme.....	25
5.2.2. Eskişehir-Yukarıkalabak Mevki’inde yapılan toprak örnekleme.....	26
5.3. Laboratuvar Çalışmaları	28
5.3.1. Yığın yoğunluğu ve nem içeriği	29
5.3.2. Tane boyut analizi.....	30
5.3.3. pH ve elektriksel iletkenlik analizi	33
5.3.4. Toprak nitrat azotu ve amonyum azotunun belirlenmesi.....	34
5.3.5. Kjeldahl yöntemi ile toplam azotun belirlenmesi	35
5.3.6. Toplam organik karbon (Modifiye Walkley-Black) analizi.....	38
5.3.7. Matematiksel modelle N ₂ O emisyon miktarının belirlenmesi.....	38
5.3.8. DNDC modeli ile N ₂ O emisyon miktarının belirlenmesi	39
6. BULGULAR	44
6.1. Örnekleme Noktalarının Fiziksel Özellikleri	44
6.2. Farklı Alan Kullanımlarında Azot Formları	55
6.3. C/N Oranının Toplam Azot Miktarı ile İlişkisi.....	59
6.4. Verilerin İstatistikî Değerlendirilmesi	60
6.5. N ₂ O (Diazot Oksit) Emisyonlarının Belirlenmesi	64
6.5.1. Matematiksel denklem ile N ₂ O (diazot oksit) emisyonlarının belirlenmesi	64
6.5.2. DNDC ile N ₂ O (diazot oksit) emisyonlarının belirlenmesi.....	67

7. SONUÇ VE ÖNERİLER..... 71

KAYNAKÇA..... 73

EKLER

ÖZGEÇMİŞ



TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 5.1. Muttalip Mevki'inden derinliğe bağlı olarak alınan toprak karotlarının konumları	25
Tablo 5.2. Yukarıkalabak Mevki'inden derinliğe bağlı olarak alınan toprak karotlarının konumları	28
Tablo 6.1. Topraktaki pH değerlerinin sınıflandırılması (Pansu ve Gautheyrou, 2007)	49
Tablo 6.2. Toprakta tuzluluk sınıfı (Karaoğlu ve Yalçın, 2018).....	50
Tablo 6.3. Muttalip örnekleme alanında mera ve tarım alanlarının C/N değerleri	60
Tablo 6.4. Yukarıkalabak örnekleme alanında mera, tarım orman alanlarının C/N değerleri	60
Tablo 6.5. Muttalip'te bulunan tarım alanlarının 0-10 cm derinliğinden kaynaklı N ₂ O emisyon miktarları (kg N ₂ O/ha).....	65
Tablo 6.6. Yukarıkalabak'ta bulunan tarım alanlarının 0-5 cm derinliğinden kaynaklı N ₂ O emisyon miktarları (kg N ₂ O/ha)	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Rastgele kompozit örnekleme (http- 1)	12
Şekil 2.2. Yönlendirilmiş rastgele kompozit örnekleme (http-1)	12
Şekil 2.3. Karşılaştırma örnekleme (http- 1)	13
Şekil 2.4. Peyzaj yönelimli karşılaştırma örnekleri (http- 1).....	13
Şekil 2.5. Izgara örnekleme (http- 1)	14
Şekil 3.1. Azot Döngüsü (Powlson, 1993)	16
Şekil 5.1. Eskişehir’de farklı alan kullanımları	23
Şekil 5.2. Muttalıp Mevki Çalışma Alanı.....	24
Şekil 5.3. Yukarıkalabak Mevki Çalışma Alanı	24
Şekil 5.4. Muttalıp bölgesinde yapılan örnekleme	25
Şekil 5.5. a: fiğ tarlası, b: buğday tarlası ve c: mısır tarlası örneklemesi	26
Şekil 5.6. Tarım, orman ve mera alanları	27
Şekil 5.7. Sahada toprak örneklemesi.....	27
Şekil 5.8. Toprak örneklerinin analize hazır hale getirilmesi	29
Şekil 5.9. a: Küvete toprağın konulması, b: toprağın küvette boşluk kalmayacak şekilde sıkıştırılması, c: örneğin hassas terazi ile tartım işlemi, d:örnek lerin etüve (Nüve Dry Air Sterilizer FN 005) yerleştirilmesi	30
Şekil 5.10. Tekstür üçgeni (Avdan, 2015).....	31
Şekil 5.11. a: elek analizi ve b: partikül boyut analizine ait görsel	33

Şekil 5.12. a: toprak örneklerinin elenmesi, b: örneklerin tartımı, c: örneklerin ekstraksiyon için	34
Şekil 5.13. Ekstraksiyon örneklerinin hazırlanması	35
Şekil 5.14. Nitrat ve amonyum probu ile ölçümlerin yapılması.....	35
Şekil 5.15. Toplam azot analizi	37
Şekil 5.16. DNDC modelinin ana sayfası.....	41
Şekil 5.17. Input (Girdi) sekmesi.....	42
Şekil 5.18. Soil (toprak) sekmesi.....	42
Şekil 5.19. Meteoroloji istasyon noktaları.....	43
Şekil 6.1. Muttalip Mevki’inde bulunan mera topraklarının yığın yoğunluğu ve nem içeriği değerlerinin derinlik ile değişimi.....	45
Şekil 6.2. Yukarıkalabak Mevki’inde bulunan mera topraklarının yığın yoğunluğu ve nem içeriği değerlerinin derinlik ile değişimi.....	46
Şekil 6.3. Muttalip Mevki’inde bulunan tarım topraklarının yığın yoğunluğu ve nem içeriği değerlerinin derinlik ile değişimi.....	47
Şekil 6.4. Yukarıkalabak Mevki’inde bulunan tarım topraklarının yığın yoğunluğu ve nem içeriği değerlerinin derinlik ile değişimi.....	48
Şekil 6.5. Yukarıkalabak Mevki’inde bulunan orman topraklarının yığın yoğunluğu ve nem içeriği değerlerinin derinlik ile değişimi.....	49
Şekil 6.6. Muttalip Mevki’inde bulunan mera topraklarının pH ve EC değerlerinin derinlik ile değişimi.....	51

Şekil 6.7. Yukarıkalabak Mevki’inde bulunan mera topraklarının pH ve EC değerlerinin derinlik ile değişimi	52
Şekil 6.8. Muttalip Mevki’inde bulunan tarım topraklarının pH ve EC değerlerinin derinlik ile değişimi.....	53
Şekil 6.9. Yukarıkalabak Mevki’inde bulunan tarım topraklarının pH ve EC değerlerinin derinlik ile değişimi	54
Şekil 6.10. Yukarıkalabak Mevki’inde bulunan orman topraklarının pH ve EC değerlerinin derinlik ile değişimi	55
Şekil 6.11. Muttalip Mevki’inde bulunan tarım ve mera alanlarının toplam azot değerlerinin derinliğe bağlı değişimi.....	56
Şekil 6.12. Yukarıkalabak’da bulunan tarım, orman ve mera alanlarının toplam azot değerlerinin derinliğe bağlı değişimi.....	57
Şekil 6.13. Muttalip’de mera ve tarım alanlarında organik ve inorganik azot miktarlarının dağılımları	58
Şekil 6.14. Yukarıkalabak’da tarım, orman ve mera alanlarında organik ve inorganik azot miktarlarının dağılımları	59
Şekil 6.15. Bağımlı değişken olarak toplam azotun yer aldığı çoklu doğrusal regresyon modelleri	61
Şekil 6.16. Bağımlı değişken olarak toplam azotun yer aldığı çoklu korelasyon matrisi.....	62
Şekil 6.17. Bağımlı değişken olarak toplam azotun yer aldığı çoklu korelasyon matrisi.....	63

Şekil 6.18. Bağımlı değişken olarak toplam azotun yer aldığı çoklu korelasyon matrisi.....	64
Şekil 6.19. Mera alanında DNDC uygulaması	67
Şekil 6.20. Nadas alanında DNDC uygulaması.....	68
Şekil 6.21. Buğday tarım alanında DNDC uygulaması.....	69
Şekil 6.22. Mera, nadas ve buğday alanının küresel ısınma potansiyeli (GWP).....	70

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

C	: Karbon
C/N	: Karbon-Azot Oranı
DNDC	: (DeNitrification-DeComposition) Denitrifikasyon-Dekompozisyon
ds/m	: Desisiemens/metre
EC	: Elektriksel İletkenlik
GPS	: (Global Positioning System) Küresel Konumlama Sistemi
GWP	: (Global Warming Potential) Küresel Isınma Potansiyeli
ha	: Hektar
H ₂ O ₂	: Hidrojen Peroksit
H ₂ SO ₄	: Sülfürik Asit
KCl	: Potasyum Klorür
IPCC	:(Intergovernmental Panel on Climate Change) Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
µm	: Mikrometre
N	: Azot
NO	: Azot Oksit
N ₂ O	: Diazot Oksit
NH ₄ - N	: Amonyum Azotu
NO ₃ - N	: Nitrat Azotu

NO ₂ - N	: Nitrit Azotu
OC	: Organik Karbon
OM	: Organik Madde
Rpm	: (Revolutions per minute) Dakikadaki Devir Sayısı
TN	: Toplam Azot
TP	: Toplam Fosfor
TOC	: Toplam Organik Karbon
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

1. GİRİŞ

Bitkilerin yapı ve fonksiyonlarında önemli bir rol oynayan azot, doğada bir döngü içerisinde bulunmaktadır. Bu döngüde azotun temel kaynağı atmosferde gaz halinde bulunan serbest azot (N_2) ve organik maddenin yapısında bulunan bağlı azottur. Doğada azot döngüsü üç ana aşamada gerçekleşir. İlk olarak, havada serbest halde bulunan azotun atmosferik fiksasyon olarak adlandırılan yüksek enerji fiksasyonu (kozmetik radyasyon, şimşek) ile oluşan amonyak ve nitratların yağmur suyu ile yeryüzüne taşınmasıyla simbiyotik yolla veya serbest yaşayan organizmalarca (mavi yeşil algler ve bakteriler) biyokimyasal olarak organik forma indirgenmesi gerçekleşir. İkinci olarak, organik maddenin parçalanarak mineralleşmesi (amonifikasyon, nitrifikasyon ve denitrifikasyon) ile mineral azotun (NO_3^- ve NH_4^+) oluşumu gözlemlenir ve son aşamada mineral azotun bitkilerce alınıp tekrar organik yapıya katılmasıdır.

Toprakta organik bağlı azot, amonyak ve nitrit üzerinden nitrate dönüşürken, bu olay bitki bünyesinde nitratın nitrit üzerinden amonyağa dönüşmesi ve organik yapılara katılması ile son bulmaktadır. Bitkiler tarafından alınan amonyum ise direkt olarak amonyak üzerinden organik yapılara katılmaktadır. Dolayısıyla bitkilerin azot beslenmesi, topraktaki mineralleşme oranı, bitki türlerinin topraktaki nitratı ve amonyumu indirmeye kapasitesi ile ilişkilidir. Toprakta organik azotun mineralizasyonu birçok ortamsal faktöre bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bu ortamsal faktörler arasında organik maddenin yapısı, toprağın nem içeriği, maksimal su tutma kapasitesi, pH, sıcaklık, ve besin elementlerinin miktarı sayılabilir.

Tarımsal faaliyetler; üç ana sera gazı olan karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) ve diazot oksit (N_2O) için önemli bir kaynak konumundadır. Sektörel bazda en önemli sera gazı sorununu karbondioksit (CO_2) oluştururken tarım için en önemli sera gazı bitkisel üretim dikkate alındığında diazot oksit (N_2O)'dir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Nisan 2018'de yayınlanan Seragazı Emisyon İstatistikleri'ne göre N_2O emisyonlarındaki en büyük payı tarımsal faaliyetler oluşturmaktadır. N_2O emisyonlarının %77,6'sı tarımsal faaliyetlerden, %12,1'i enerjiden, %6,5'i atıktan, %3,8'i ise endüstriyel işlemler ve ürün kullanımından kaynaklanmaktadır. Aynı kurumun 2012 yılı verileri incelendiğinde N_2O emisyon miktarının %74'ü tarımsal faaliyet kaynaklı olarak gerçekleşmiştir. Bu yıllar

arasında tarım topraklarından kaynaklı N_2O emisyon miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Artan miktarlarda atmosfere geçen diazot oksit (N_2O) gazı ozon tabakasının zarar görmesine neden olmaktadır. Küresel İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 4. Raporunda belirtilen 100 yıllık bir zaman dilimi için N_2O gazı birim kütlesinin CO_2 gazı birim kütlesi olarak 298 kez küresel ısınma potansiyeline katkısı olduğu kabul edilmektedir. Tarım topraklarında gerçekleşen N_2O salınımı mikrobiyal süreç olan denitrifikasyon sürecinin bazı faktörlerden kaynaklı tam olarak gerçekleşmemesinden dolayı oluşmaktadır. Bu faktörler toprağın oksijen içeriği, toprak sıcaklığı, mineral azot içeriği, toprak pH'ı ve toprak nem içeriği olarak sayılabilir. Bu faktörler üzerine, toprak yönetimi ile ilgili uygulamaların etkisi dolaylı olarak N_2O salınım düzeylerini etkileyebilmektedir.

Bu tez çalışmasında; farklı alan olarak seçilen tarım, orman ve mera için azot miktarlarının ve karbon-azot oranlarının (C/N) toprak derinliğine bağlı derişimlerinin hesaplanması ve toprağın fiziksel özellikleri ile birlikte değerlendirilmesi ayrıca alanlardan alınan karotların ilk 10 cm'lik kısmında inorganik ve organik azot miktarlarının hesaplanmasıyla diazot oksit (N_2O) emisyon miktarlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma, Eskişehir, Muttalıp Mevki'inde bulunan tarım (buğday, mısır, fiğ), mera alanlarında ve Eskişehir Yukarıkalabak Mevki'inde bulunan sık karaçam ormanları, tarım (buğday), mera alanlarında gerçekleştirilmiştir.

Bu kapsamda; çalışma sahasında iki farklı örnekleme yöntemi olan rastgele örnekleme ve ızgara örnekleme yöntemi kullanılarak alınan toprak örneklerinin derinliğe bağlı pH ve elektriksel iletkenlik, yığın yoğunluğu, nem içeriği (gravimetrik analiz), partikül boyut dağılımı gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Modifiye Kjeldahl analizi ile toplam azot belirlenmiş ve C/N kullanılarak azotun derinliğe bağlı karakterizasyonu yapılmıştır. Toprak örnekleri için 0-10 cm aralığında amonyum azotu ve nitrat azotu hesaplanmıştır. Modifiye Kjeldahl analizi ile belirlenmiş olan toplam azot değerinden amonyum ve nitrat azot miktarlarının çıkarılmasıyla yüzey toprağı (0-10 cm) için organik azot değerlerine ulaşılmıştır.

Bu çalışma doğrultusunda, ülkemizde ve dünya genelinde denitrifikasyon sürecinde oluşan sera gazları üzerine detaylı bir literatür çalışması yapılmıştır. Literatürde son yıllarda deneysel sonuçlardan elde edilen denitrifikasyon hızları ve çıkarılan modeller bulunmaktadır. Bu çalışmalarda elde edilen modeller kullanılarak farklı alan

kullanımında diazot oksit (N_2O) emisyon miktarları belirlenecektir. Ülkemizde daha önce tarımsal alanlarda yapılan çalışmalarda diazot oksit (N_2O) emisyon miktarının belirlenmesi üzerine çalışma olmaması nedeniyle yapılacak bu çalışma ile gelecek çalışmalar için öncü değerler elde edilecektir. Yukarıda bahsedildiği üzere küresel ölçekte diazot oksit gazı salınımında en büyük pay tarım alanlarına aittir. Tüm bu çalışmalara ek olarak, mera alanlarından kaynaklı diazot oksit gazı emisyonunun küresel ölçekteki etkisi değerlendirilecektir. Azot döngüsü boyunca başta tarım alanları olmak üzere mera alanlarından kaynaklı N_2O gazı emisyonunu küresel iklim değişikliği yönünden değerlendirmek, bu emisyonların doğaya ve canlılara olan etkisi de dikkate alınarak uzun vadeli çalışmalar geliştirmek ve ulusal sera gazı (GHG) tahminlerine tam manasıyla katkıda bulunacak tutarlı değerler elde etmek bu çalışmanın öncü amaçlarıdır.

1.1. Literatür Çalışmaları

1.1.1. Azot miktarının belirlenmesine yönelik çalışmalar

Blackmon, Klasik Kjeldahl prosedürü ile yapılan toplam toprak azot tahminlerini, hazır Kjeldahl tabletleri kullanarak değiştirmiş bir prosedürle yakından ilişkili bulmuştur ($R^2 = 0,98$). İki teknik, regresyon ve korelasyon analizleriyle karşılaştırılmıştır. İki örnek arasındaki farkların varyans analizi, iki prosedürle elde edilen değerler arasında anlamlı bir fark olmadığını ortaya koymaktadır. Varyasyon katsayıları standart yöntem için yüzde 54,6 ve diğer yöntem için 53,2 olarak bulunmuştur (Blackmon, 1971).

Toplam toprak azotunun belirlenmesi için standart Kjeldahl metodu, ayrı ayrı tartım yapmayı ve birkaç farklı kimyasal ile katalizör ilave etmeyi gerektirmektedir. Bu işlemler de prosedür içerisinde ekstra zaman ve enerji gerektirmektedir. Hazır Kjeldahl tabletler, Kjeldahl prosedürünü basitleştirerek standart yöntemdeki süreyi azaltmaktadır. Ayrıca bu prosedürde selenyum ve civa gibi toksik elementlere doğrudan maruz kalınmadığı için standart prosedürden daha güvenilirdir (Blackmon, 1971).

Topraktaki toplam azot tayini için 1984 yılında Dalai ve ark. klasik Kjeldahl metodunun sodyum tiyosülfat ile modifikasyonunu sağlayıp ekili topraklardaki nitrat birikiminin nadas dönemine göre değişimini amaçlamışlardır. Hindistan, Batı Hint Adaları ve Avustralya'nın belirli noktalarından toprak örnekleri almışlardır. 0-10 cm aralığından

aldıkları toprakları 2 mm'lik elekten geçirdikten sonra analize hazır hale getirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda nitrat birikiminde önemli değişiklikler olduğunu saptamışlardır (Dalai ve ark., 1984).

Flowers ve Bremner, topraklardaki toplam azotun (N) hızlı bir şekilde belirlenmesi için önerilen kromik asit yöntemi ile toplam toprak analizinde yaygın olarak kullanılan Kjeldahl yönteminden elde edilen sonuçları karşılaştırarak değerlendirmiştir. Doku ve organik karbon içeriğinde belirgin bir şekilde farklılık gösterecek şekilde seçilen 12 yüzey toprağının analizi, kromik asit yönteminin Kjeldahl yöntemiyle elde edilen N toprağının sadece %87.5 ila %94.1 (ortalama % 90.5) geri kazandığını göstermiştir. Kromik asit yöntemiyle N'nin amonyum sülfattan ve topraklardan geri kazanımı, kromik asitle sindirim süresinin 1 dakikadan 15 dakikaya yükselmesiyle (önerilen sindirim süresi) azalmıştır. Bu, N'nin kromik asit yöntemiyle düşük geri kazanımının, amonyumun nitrat ve / veya nitritin kromik asit ile oksidasyonu ve daha sonra bu N formlarının gaz halindeki kaybı nedeniyle olduğunu göstermiştir. Azot miktarının yaklaşık olarak yarısı, 15 dakika boyunca kromik asitle amonyum sülfatın bozundurulmasıyla amonyum olarak geri kazanılamayacağını sadece nitrat şeklinde geri kazanılabileceğini göstermektedir (Flowers ve Bremner, 1991).

Sahrawat ve Murthy, 2000 yılında topraklarda organik karbon (C) ve potansiyel olarak mineralleştirilebilir azotun (N) eş zamanlı belirlenmesi için uygun bulunan bir dikromat sindirim prosedürünün modifiye edilmiş versiyonunun Hindistan'ın yarı kurak bölgesinden 44 farklı toprak numunesinde toplam N tayini için değerlendirilmiştir. Yöntem, toprak numunesinin, 165 °C' ye önceden ısıtılmış bir termoreaktör içerisinde bir reaksiyon tüpünde 30 dakika boyunca, asitleştirilmiş bir dikromat çözeltisi ile bozundurulmasını ve ardından bozundurulmuş N'nin buharla damıtma prosedürüyle belirlenmesini içermektedir. Hem Kjeldahl hem de önerilen asit dikromat yöntemlerinin toplam N'nin belirlenmesinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. 44 toprak numunesinin toplam N içeriği, Kjeldahl metodu ile 132 ila 907 mg N kg⁻¹ toprak ve asit dikromat prosedürüyle 79 ila 817 mg N kg⁻¹ toprak arasında değişmektedir. Bu sonuçlar, dikromat metodu ve Kjeldahl metodu ile belirlenen toplam N değerleri arasındaki korelasyonun mükemmel olduğunu göstermektedir (Sahrawat ve Murthy, 2000).

Bellitürk ve Sağlam, 2005'te, Tekirdağ il'inden alınan farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olan tarım topraklarındaki organik formda bulunan azotun

mineralizasyonunu belirleyebilmek amacıyla laboratuvar çalışması yürütmüşlerdir. Bu amaçla topraklar 14 günlük inkübasyona tabi tutulmuş ve inkübasyon süresince topraklarda günlük olarak ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) - N analizi yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, toprak örneklerinin % 90'ı organik maddece yetersiz bulunmuştur. pH, kil, organik madde ve toplam azot miktarı ile mineralizasyon kapasitesi arasında herhangi bir ilişki olmadığı sonucuna varmışlardır (Bellitürk ve Sağlam, 2005).

Çimrin ve Boysan 2006'da Van ve ilçelerinin bir bölümünde buğday tarımı yapılan topraklardan, 0-20 ve 20-40 cm olmak üzere iki farklı derinlikten ve 26 farklı noktadan toplam 52 toprak örneği almışlar ve toplam azot miktarını Kjeldahl yöntemine göre hesaplamışlardır. Hesaplamalar sonucunda, Van ili çevresi buğday tarımı yapılan toprakların azot elementi açısından değerlendirildiğinde toprakların %11.5'i azotça fakir, %36.5'i orta ve %46.0'sı iyi, %6'sı zengin durumda olduğunu bulmuşlardır (Çimrin ve Boysan, 2006).

Sharifi ve ark. 2009, toplam azot (N) analizini geleneksel Kjeldahl yakma yöntemi ile denemişlerdir. Bu çalışmada, toprak numunesinin buharla distilasyonu ile sodyum hidroksit çözeltisi ile üretilen amonyum ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)'un belirlenmesine dayanan bir yöntem geliştirilmiş ve toplam azot konsantrasyonunun tahmini için değerlendirilmiştir. Yöntem iki örnek set kullanılarak uygulanmıştır. Örnekler farklı iklim bölgelerini (kurak, yarı kurak, su altı ve nemli), farklı toprak türlerini, farklı arazi kullanımlarını (orman, mera ve ekili) ve farklı organik madde içeriğine sahip toprak türlerini temsil edecek şekilde alınmıştır. Bu çalışmada, optimum koşullar olarak 20 mL 12.5 M NaOH ile Kjeldahl yakma cihazında bozundurulmuş olan 5 g toprağın 10 dakikalık damıtılması seçilmiştir. NaOH metodu, geleneksel Kjeldahl metodundan daha düşük ölçüm maliyeti ve daha güvenilir sonuçlar vermesi ile basit ve hızlı bir analiz yapma olanağı sunmaktadır (Sharifi ve ark., 2009).

Turan ve ark. 2010'da Bursa ili alüvyal tarım topraklarının verimlilik durumlarının ortaya konması amacıyla 30 adet toprak örneği alınarak toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinden mekanik (Tekstür) analizi Hidrometre yöntemine göre (Bouyoucos, 1951); toprak reaksiyonu (pH), ve elektriksel iletkenlik (EC) saf su ile 1:2,5 oranında sulandırılmış toprak örneklerinde Richards (1954)'e göre; organik madde Jackson (1962) tarafından bildirildiği şekilde Modifiye Walkley-Black yaş yakma yöntemine göre belirlenmiştir. Bursa ili alüvyal tarım

topraklarının pH'ı ortalama 7,71, elektriksel iletkenlik değeri ortalama 292.0 $\mu\text{S cm}^{-1}$, toprakların organik madde miktarları ortalama olarak 20.3 g kg^{-1} , toplam azot içeriklerinin ise % 3,33'ü çok az, % 43.33'ü az, % 46.67'si yeterli ve % 6.67'si fazla miktarda azot içerdiği tespit edilmiştir. Bu değerlerin Türkiye tarım toprakları geneli ile uyum içerisinde olduğu doğrulanmıştır (Turan ve ark., 2010).

Bellitürk, 2011'de Edirne ilinin Uzunköprü ilçesinde, yoğun bir şekilde azotlu gübre kullanılan tarım topraklarından 66 adet toprak örneğini 0-20 cm derinlikten alarak bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelemeyi amaçlamıştır. Toprak örneklerinin pH'ı cam elektrotlu pH-metre, organik madde miktarı Walkley-Black yöntemi, toplam azot miktarları ise Kjeldahl yöntemi ile belirlenmiştir. Toprakların ortalama pH değerlerinin 5,17, organik madde içerikleri % 2'den düşük olmasından dolayı “yetersiz” olduğu, toprak örneklerinin azot yüzdelерinin de organik maddede olduğu gibi “düşük azotlu” yani sınır değeri olan 0.09'dan az olduğu tespit edilmiştir. Topraklarda azot eksikliğinin, gelecek için endişe oluşturduğunu öngörmüştür (Bellitürk, 2011).

Bolat, 2011 yılında kayın, göknar ve göknar-kayın meşcerelerinde üst toprak ve ölü örtüdeki mikrobiyal biyokütle karbon, azot, fosfor ve mikrobiyal solunumun mevsimsel değişimi üzerine çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, organik maddenin biyolojik olarak ana bölümünü oluşturan mikrobiyal biyokütlerde bulunan C, N ve P'un ölçülmesinin toprak kalitesi ve verimliliğinde meydana gelen değişimi en iyi şekilde yansıttığı sonucuna varılmıştır. Mevsimsel değişime bağlı olarak farklı meşcereler altındaki ölü örtü (yaprak ve humus) ve üst topraktaki (0-5 cm) organik madde ve besin döngüsünde toprak mikrobiyal biyokütlesinin rolünü anlamak, ağaç türlerinin mikrobiyal biyokütle üzerine olan etkilerini ortaya çıkarmak ve mikrobiyal faaliyetlerin meşcere tiplerine ve mevsime bağlı değişimini belirlemek amaçlanmıştır. Ayrıca mikrobiyal biyokütle C, N, P ve toprak örneklerinin diğer bazı özellikleri arasındaki ilişkilerin ortaya konulması hedeflenmiştir. Sonuçlara göre ölü örtü ve toprak örneklerinin mikrobiyal biyokütle C, N ve P içerikleri ile mikrobiyal solunum meşcere tiplerine ve mevsimlere göre değişiklik göstermektedir. Yapılan bu çalışma ile aynı yetiştirme ortamında bulunan farklı meşcere tiplerine ait ölü örtü ve üst toprakların bazı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin birbirinden farklı olduğu ve mevsimlere göre de değişiklik gösterdiği anlaşılmıştır. Farklı meşcerelere ait ölü örtü ve üst toprakların mikrobiyal biyokütle ve solunumları, organik C, toplam N ve bitkiye yarayışlı P

tarafından kontrol edildiği ve mikrobiyal biyokütle ve solunumun pH, kil içeriği gibi diğer ölü örtü ve toprak özellikleri ile nem içeriği, sıcaklık gibi çevresel faktörlerden de etkilendiği belirlenmiştir (Bolat, 2011).

Tecimen 2011 yılında, İstanbul'un kuzeyinde yer alan Çatalca – Karacaköy bölgesinde çalışmasını gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında meşe ormanları, çalı alanları, eski (≈ 20 yıl) ve yeni (≈ 5 yıl) terk edilmiş tarla alanlarından alınan örneklerin laboratuvar koşullarında bekletilmesi ile net azot mineralleşmesi miktarlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Tüm araziler için 400 m^2 'lik örnekleme alanlarından alınan toprak örnekleri laboratuvar koşullarında (21°C ve ağırlıkça %60 nemlendirilmiş) 29 gün bekletilerek net azot mineralleşme miktarları belirlenmiştir. Toprak örneklerinin pH'ı cam elektrotlu pH metre ile ölçülmüştür. Toprak örnekleri $0,25 \text{ mm}$ 'lik elekten geçirildikten sonra toplam azot Semi-Mikro Kjeldahl metoduyla ve organik karbon içerikleri Walkley-Black yöntemi ile belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, orman alanlarında diğer alanlardan fazla mineralleşme olması bu alanlardaki mikrobiyal toplulukların bulunuşundan ve faaliyet düzeylerinin yüksek olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır (Tecimen, 2011).

Sukor 2013 yılında yaptığı çalışmada azot mineralizasyonunda 140 gün boyunca sabit sıcaklık (25°C) ve nem içeriği % 60 olan iki farklı tarım toprağında siyonabakter içeren gübre ve organik gübreyi karşılaştırmıştır. Bu toprakların 140 gün boyunca örneklemeyle ve NO_3^- -N ve NH_4^+ -N, toplam organik karbonu ve azot (N) analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerin ilk 56 gününde N miktarı yüksekken, devam eden günden 140. güne doğru NO_3^- -N'nin arttığı sonucuna varılmıştır (Sukor, 2013).

1.1.2. N_2O (diazot oksit) emisyonunun belirlenmesine yönelik çalışmalar

Hofstra ve Bouwman 2005 yılında, toprak, iklim, tarımsal yönetim ve ölçüm teknikleriyle ilgili birkaç faktörün denitrifikasyon üzerindeki etkisini incelemek üzere 336 adet tarım toprağında denitrifikasyon ölçümünden alınan bilgileri değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, yüksek azot miktarının ve zayıf toprak drenajının bulunduğu tarımsal alanlarda, düşük azot miktarı ve kuvvetli toprak drenajının bulunduğu alanlara göre daha yüksek denitrifikasyon değerinin olduğu sonucuna varılmıştır (Hofstra ve Bouwman, 2005).

Kayıkçıoğlu 2008 yılında, toprak mikroorganizmaları tarafından üretilen küresel gazlar üzerine yaptıkları çalışmada N_2O ve NO gazlarının mikroorganizmalar tarafından üretilen iki önemli azot gazı olup nitrifikasyon ve denitrifikasyon olayları ile ortaya çıktıklarını belirtmişlerdir. Atmosferik küresel gazların hareketlerini net olarak belirleyebilmek ve bu gazların farklı iklim ve arazi koşullarında nasıl bir değişim göstereceklerini saptayabilmek için çeşitli model çalışmalar yapmak gerekmektedir. Oldukça kuru koşullarda, mikrobiyal aktivite ve gaz emisyonları düşük seviyededir. Su ile dolu boşluklar oranı toprakta % 30 veya biraz üzeri olduğunda nitrifikasyon artmakta ve nitrik oksit ortaya çıkmaktadır. Topraklarda nemlilik artmaya başladıkça, nitrifikasyonla beraber denitrifikasyon da başlamakta ve her iki olay nitrik ve diazot oksidi oluşturmaktadır. Su ile dolu boşluklar oranı % 60'ı geçerse, nitrifikasyon yavaşlamakta, nitrik oksit toprağın dışına çıkamadan tüketilmekte ve denitrifikasyondan ortaya çıkan diazot oksit ana azot gazını oluşturmaktadır. Topraklar tamamen su ile kaplı olduklarında, faydalı azot miktarı bitinceye kadar denitrifikasyon hızlı bir şekilde ilerlemektedir. Bu koşullar altında diazot ana üründür ve çok az miktarlarda nitrik veya diazot oksit oluşmaktadır (Kayıkçıoğlu, 2008).

Tecimen ve Sevgi 2009 yılında, azotun orman ekosistemlerine girişi, ekosistem içerisinde tutulması ve kullanılması, daha sonra da sistemi terk ederek döngüsünü tamamlaması üzerine derleme çalışması yapmışlardır. Ölü örtüde, toprakta, ana kayada ve havada serbest ve bağlı azotun bulunuş miktarları çok yüksek olabilmesine karşın kullanılabilirliği mikroorganizma faaliyetleri sonucu mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada azotun orman topraklarında bulunuşundan itibaren gerçekleşen mikroorganizmaların dahil olduğu dönüşüm süreçleri açıklanmış ve bu süreçlerin dahil olduğu ölü örtü ayrışması, azot mineralizasyonu ve azot döngüsü hızı ile mikroorganizmalar arasındaki ilişkiler irdelenmiştir. Ölü örtü, ormandaki besin döngüsünün önemli kaynaklarından biridir. Biyolojik ayrışma ve humuslaşma olayları ölü örtünün yapısına, ağaç türüne, yetiştirme ortamı koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Ayrışma koşullarını kontrol eden bir etken olan azot birikiminin yüksek olması karbonun ayrışmasını yavaşlatmakta ve ölü örtünün birikmesine neden olmaktadır. Ayrışma göstergelerinden biri olan C/N oranı yüksek olduğunda güç ayrışma koşulları, düşük iken ise iyi ayrışma koşulları bulunmaktadır. Bununla birlikte lignin/N oranına

dayanarak yapılan incelemelerde ölü örtüye katılan artık materyalin yapısındaki ligninin %20'den fazla olması diğer değişkenlere bakılmaksızın ayrışmayı geciktirdiği sonucuna varılmıştır. Azot döngüsü hızının ormanın yaşına ve doğal veya ağaçlandırma olmasına göre de değiştiği; bununla birlikte izlenen bir azot atomunun toprakta herhangi bir formda kalma süresinin kısa olması döngünün hızlı olduğunu göstermektedir. Azot mineralizasyonu orman büyümesini doğrudan olumlu etkileyen bir işlemdir. Farklı ağaç türleri ve meşcere çağı; azotun mineralize edilen ürünlerinin mikroorganizmalar tarafından kullanım düzeyleri üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca iklimin de mikroorganizma faaliyetleri üzerinde etkili olmasına bağlı olarak ülkemiz ormanlarında yapılacak çalışmalarda önemli sonuçlar elde edilebilecektir. Örneğin yüksek dağlık alanlardaki ormanlarda azot döngüsü daha yavaş, deniz seviyesindeki kızılçam ormanlarında daha hızlı olabilecek; karadeniz kıyı kuşağındaki nemli yapraklı ormanlarda ise mineral azotun bitki ve mikroorganizma alımından daha fazla miktarının yıkanarak uzaklaşması gerçekleşebilecektir (Tecimen ve Sevgi, 2009).

Weier ve Grace 2012 yılında Avustralya'da süt endüstrisinde denitrifikasyon araştırmalarını değerlendirmek ve otlaklardan kaynaklı N_2O ve N_2 emisyonlarını azaltmak için kullanılabilecek prosedürleri önermek amacıyla bir derleme çalışması yayınlamışlardır. N_2O 'nun atmosferik konsantrasyonun CO_2 'den daha düşük olmasına rağmen, stratosferde 100 yıldan daha uzun bir ömrü ve CO_2 'den 310 kat daha yüksek bir Küresel Isınma Potansiyeline (GWP) sahip olduğu ve günümüzde, Avustralya sera gazı emisyonlarının %14.6'sının N_2O gazı emisyonundan kaynaklamakta, ulusal N_2O miktarının yaklaşık % 73'ünün tarım sektöründen kaynaklandığını açıklamışlardır. Biyolojik denitrifikasyon yoluyla otlaklardan çıkan N_2O ve N_2 miktarı topraktaki karbon ve azot miktarı ve o zamandaki toprağın durumundan etkilenir. Bu faktörler nitrat miktarı, çözünmüş karbon kaynağı, pH, toprak sıcaklığı ve nem olarak sıralanabilir. Kuzey Victoria'da sel suyuyla sulanan mera alanlarındaki çalışmalar, topraktaki azot substratı, sıcaklığı ve nemin yüksek seviyede olduğundan dolayı gözlemlenen en yüksek günlük emisyon miktarı 4-170 g N_2O -N/ha.gün şeklindedir (Weier ve Grace, 2012).

Deng 2013 yılındaki çalışmasında, Kanada'da tarımsal topraklardan kaynaklı diazot oksit (N_2O) gazının, atmosfere salınan toplam emisyon gazlarının yaklaşık %70'ini oluşturduğunu belirtmiştir. Biyokömür, topraktaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri

değiştirerek topraktan kaynaklı N_2O emisyonunu azaltmak için önerilen bir toprak değişikliğidir. Bu çalışmanın amacı, biyokömürle değiştirilmiş toprağın denitrifikasyon üzerindeki etkisini belirlemektir. Laboratuvar koşullarında, tarım topraklarından kaynaklı denitrifikasyon miktarının belirlenmesi için deney düzeneği kurulmuştur. Kanada’da mısır üretimi yapılan tarlalardan 5-30 cm ve 40-60 cm derinliklerden alınan toprak örneklerinde biyokömürün etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan biyokömür, piroliz (12 dakika boyunca, 500 °C) ile çam ağaçlarından yapılmıştır. Biyokömür toprakla karıştırmadan önce, 18 saat boyunca 60 °C’de kurutulmuş ve 1 mm’lik elekten geçirilmiştir. Elde edilen biyokömür, 7.75 pH’a sahiptir. Sonuç olarak, toprak pH’ı, tınlı topraklarda potansiyel denitrifikasyon hızının kontrol edilmesinde kritik bir faktördür ve asidik topraklara biyokömür eklendikten sonra toprak pH’ındaki artış üst toprak tabakasındaki N_2O üretimini azaltabilir (Deng, 2013).

Signor ve Cerri 2013 yılında, tarım topraklarından atmosfere önemli ölçüde yayılan ve küresel ısınmaya sebep olan N_2O emisyonu üzerine derleme yayınlamışlardır. N_2O yüksek miktarda oluşan küresel ısınma potansiyelinden (CO_2 ’den 298 kat fazla) dolayı önemli bir sera gazıdır. N_2O emisyonlarının çoğu toprakta gerçekleşir ve tarımsal faaliyetlerle ilişkilidir. Toprakta N_2O oluşumu ağırlıklı olarak nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçleri ile oluşur ve bu süreçler toprak nemi, sıcaklık, oksijen konsantrasyonu, mevcut organik karbon, mevcut azot miktarı ve toprak C/N oranı ile ilişkilidir. Bu faktörler arasında, toprak ile ilgili olanlar yönetim uygulamaları tarafından değiştirilebilir. Bu nedenle, topraklarda N_2O oluşum süreçlerini ve bu emisyonları etkileyen faktörleri anlamak ve tarım topraklarındaki N_2O emisyonlarını azaltmak için etkili stratejiler geliştirmek esastır. Bu derlemede, tarımsal topraklarda N_2O oluşumu ve emisyon mekanizmalarının sunumunun yanı sıra bu tür emisyonların azaltılması için toprak yönetimi uygulamalarının nasıl kullanılacağı üzerine bilgi verilmesi ve tartışılması amaçlanmıştır (Signor ve Cerri, 2013).

2. ÖRNEKLEME YÖNTEMLERİ

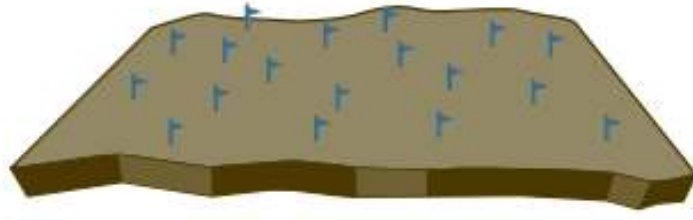
Toprak örnekleme süreci, araştırma programlarındaki en önemli prosedürlerden biridir ve toprak yönetiminin gerçekleştirileceği alanı uygun bir şekilde karakterize etmesi gerekmektedir. Temsili bir örnekleme sistemi, incelenen alanı en iyi karakterize eden, ancak örnekleme sistemine aşırı yüklenmesini önlemek için en az sayıda örnekleme noktasıyla tasarlanan bir örnekleme sistemidir. Bu şekilde, tanımlayıcı istatistikler sonuçlardaki varyasyonu kabul edilebilir seviyeye getirmek için yeterli sayıda örnekleme noktasının gösterilmesine yardımcı olabilir (Estefan ve ark., 2013; Gregorich ve Carter, 2007; Harrell, 2014; Hu ve ark.,2018; Mallarino ve Wittry, 2004).

Toprak analizi, toprakta besin rezervlerinin bir “anlık görüntüsünü” sağlar ve besin uygulamaları için bir rehber olabilir. Bunlara ek olarak topraktan kaynaklı oluşan emisyon gazının küresel ölçekte etkisini belirlemede önemli olan bir analizdir. Analiz için gönderilen toprak örnekleri, alanı temsil etmelidir. Temsil edici örneklerin elde edilmesi, toprak değişkenliği nedeniyle zor olabilir. Temsili bir toprak örneği elde etmek için aşağıdaki maddeler dikkate alınmalıdır (Gregorich ve Carter, 2007; Jones, 2016; Reetz, 2001; Santos ve ark., 2017; Schoeneberger ve ark., 2012; Walworth, 2006)

- Örneklemenin zamanlaması
- Örnekleme araçları
- Örnekleme derinliği
- Örnekleme sıklığı
- Örnekleme stratejisi veya örneklenecek alanların bölümleri
- Örneklerin uygun kullanımı

2.1. Rastgele Kompozit Örnekleme (Random composite sampling)

Rastgele kompozit örnekleme, en yaygın örnek toplama yöntemidir. Topografya veya diğer alan özelliklerine herhangi bir atıfta bulunmaksızın alandan rastgele örnek alınmaktadır (Şekil 2.1). Bu strateji, çok az doğal varyasyona sahip olan 30 hektardan (ha) daha az olan alanlar için en uygun olanıdır. Rastgele kompozit örnekleme için 15-20 farklı noktadan derinliğe bağlı toprak numuneleri alınır.



Şekil 2.1. Rastgele kompozit örnekleme (http- 1)

2.2. Yönlendirilmiş Rastgele Kompozit Örnekleme (Directed Random Composite Sampling)

Yönlendirilmiş rastgele kompozit örnekleme, rastgele kompozit örnekleme stratejisinin değiştirilmiş bir versiyonudur (Şekil 2.2). Bu model, alanın çoğunu temsil edecek tek bir dominant alanın tanımlanmasının zor olduğu alanlara uygundur. Alan farklı özelliklere dayalı olarak yönetim bölgelerine ayrılır ve her bir yönetim bölgesinden rastgele olarak 15 ila 20 toprak örneği alınır.

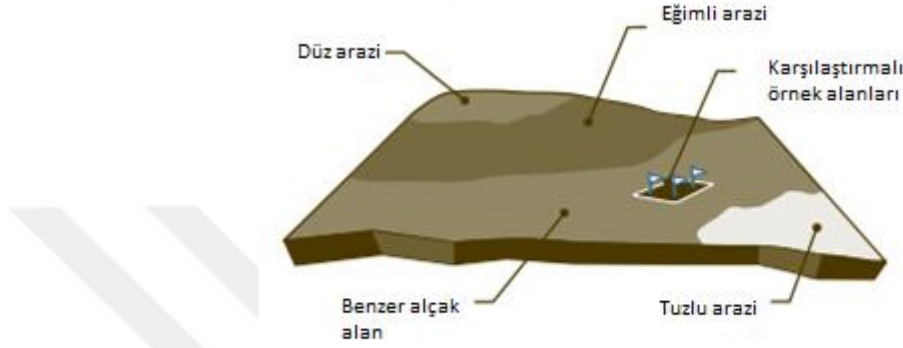


Şekil 2.2. Yönlendirilmiş rastgele kompozit örnekleme (http-1)

2.3. Karşılaştırma Örneklemesi (Benchmark sampling)

Karşılaştırma örneklemesi, bir alandan o alanı temsil edecek daha küçük boyutta (30 m x 30 m) bir alanın seçilmesini içerir (Şekil 2.3). Bu alan, tüm alanı gübrelemek için bir rehber olarak kullanılmaktadır. Ölçme alanı içerisinde ızgara örnekleme sahaları seçilir ve her bir toprak derinliği için bir kompozit numune hazırlanır. Her yıl aynı küçük alandan örnekleme, örneklem değişkenliğini azaltır ve yıldan yıla toprak besin düzeyindeki

değişiklikleri daha iyi yansıtır. Karşılaştırma örnekleme noktaları (Küresel Konumlama Sistemi) GPS veya başka yollarla işaretlenmelidir.



Şekil 2.3. Karşılaştırma örnekleme (http- 1)

2.4. Peyzaj Yönelimli Kıyaslama Örneklemesi (Landscape-Directed Benchmark Sampling)

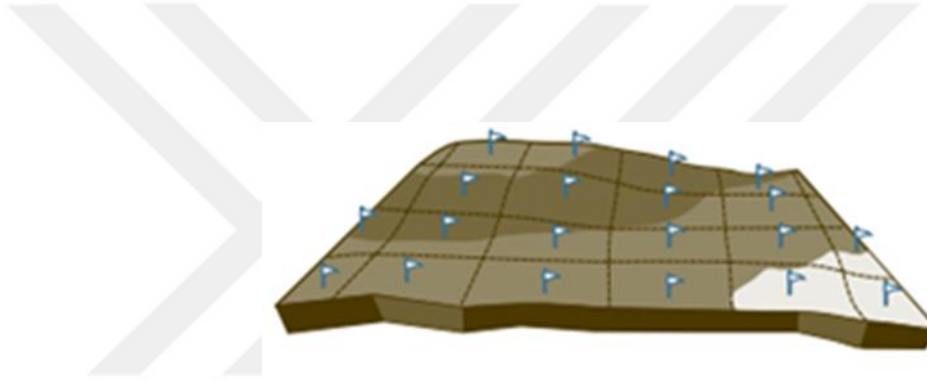
Yönlendirilmiş karşılaştırmalı örnekleme, karşılaştırma tekniğindeki bir değişikliktir. Topoğrafyaya veya diğer özelliklere dayalı olarak çoklu kriter alanları ve yönetim bölgeleri oluşturulmasını içermektedir (Şekil 2.4). Yönetim bölgeleri, toprak etütleri, ayrıntılı yükseklik haritalaması, verim haritaları veya uzaktan algılama görüntüleri kullanılarak tanımlanabilir.



Şekil 2.4. Peyzaj yönelimli karşılaştırma örnekleri (http- 1)

2.5. Izgara Örneklemesi (Grid Sampling)

Izgara örnekleme en yoğun ve pahalı örnekleme stratejisidir (Şekil 2.5). Izgara örneklemesi için bir alan küçük alanlara veya bloklara bölünür. Her bir blok içindeki örnek bir yer (örn. Merkez noktası) 3 ila 10 kez örneklenir. Örnekleme frekansı, alanın her bir $60\text{ m} \times 60\text{ m}$ alanından bir numuneden, her bir 2 ha alanından bir örneğe kadar değişebilir. Genel olarak, örnekleme birimi ne kadar küçük olursa, doğruluk o kadar artar. Bununla birlikte, gerekli sayıda numunenin analiz edilmesi maliyeti, ekonomik olmayan bir hale getirmektedir (Wollenhaupt ve Wolkowski, 1994).



Şekil 2.5. Izgara örnekleme ([http- 1](http-1))

3. TOPRAK AZOTU

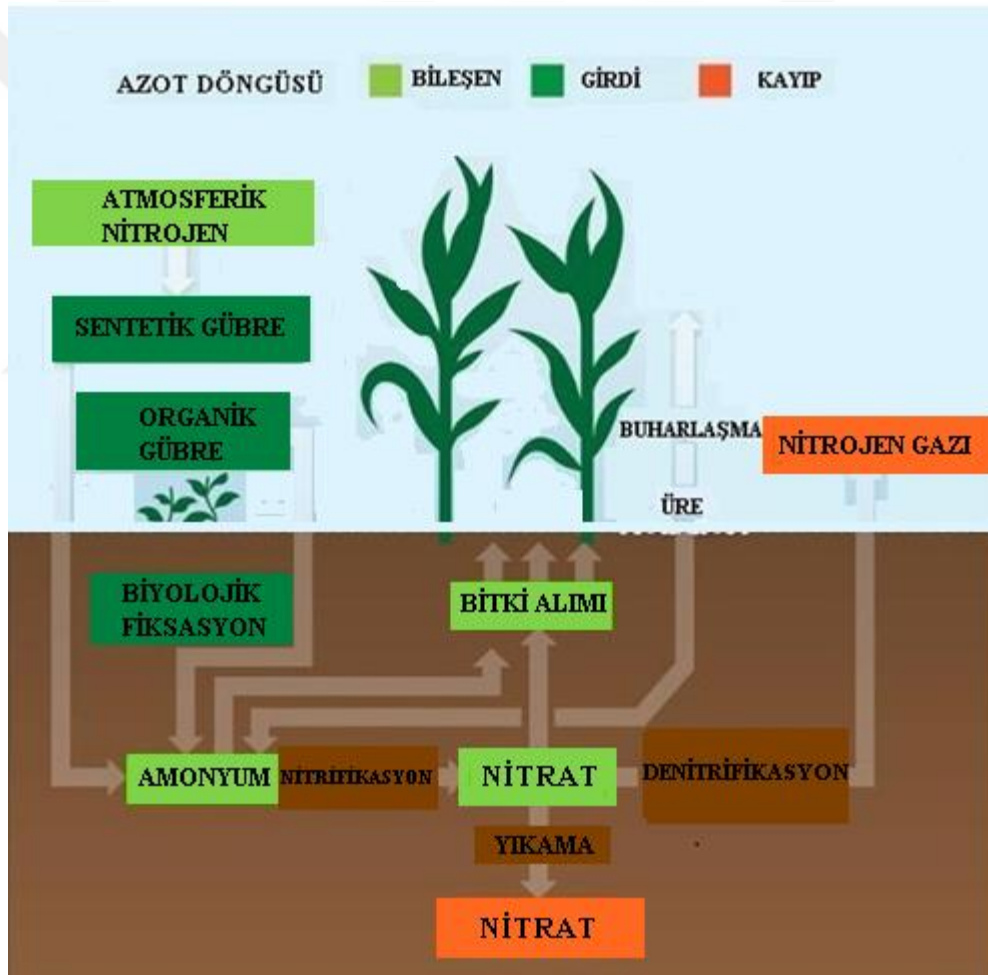
Topraktaki azot organik ve inorganik formda bulunmaktadır. Organik formlar proteinler, amino asitler ve amino şekerleri içermektedir. İnorganik formlar amonyum (NH_4^+), nitrat (NO_3^-), nitrit (NO_2^-), azot oksit (NO), diazot oksit (N_2O) ve diazot (N_2) formlarını içermektedir. Toprakta organik maddeye bağlı azot çoğunlukla proteinlerin yapı taşı olan aminoasitler şeklindedir. İnorganik olarak bağlı olan azot ise çoğunlukla amonyum ve nitrat bileşikleri şeklindedir. Amonyumun (NH_4^+) az bir miktarı değiştirilebilir durumda toprak kolloidleri tarafından tutulmaktadır. Çok az miktar azot ise nitrit (NO_2^-) halinde bulunur. Toprakta amonyum (NH_4^+), nitrat (NO_3^-), nitrit (NO_2^-) bileşikleri bitkiler tarafından alınabilir azot durumundadır. Toprakta çok fazla bulunması ve oldukça hareketli yapıda olmasından dolayı nitrat (NO_3^-), bitkiler tarafından alınan azotun ana formudur.

Azot bileşiklerinin çoğunluğu, amonyum formundan çok nitrat formunda bulunmaktadır. Bu iki N formu da bitki köklerine kütle akımı ve yayılım ile taşınır. Ancak, nitratin toprakta çok hareketli olması ve hızlıca form değiştirmesinden dolayı mineral azot analizlerinin ekimden hemen önce yapılması doğru sonuçlar alınması açısından önemlidir. Toprak verimliliği ve gübreleme açısından toprağın özellikle mineral azot içeriğinin bilinmesi önemlidir. Kavram olarak mineral azot, toprakta etkili kök derinliğindeki NO_3^- -N ve NH_4^+ -N toplamına eşit ve bitki kökünün hemen alabileceği form olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, ekim öncesinde ve hasat sonrasında toprak profilinde ölçülen mineral azot, hem bitki yetiştiriciliği hem de azotun topraktaki hareketi ve yıkanması açısından önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle NO_3^- -N ve NH_4^+ -N'u azot bütçesinin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

3.1. Azot

Azot, bitki gelişiminde ve dolayısı ile insan ve hayvan yaşamında çok önemli bir yere sahip makro besin elementlerinden biridir. Atmosferde yüksek miktarlarda olduğu halde bitki için kullanılamaz durumda bulunan moleküler yapıdaki azotun fıkse edilerek organik forma çevrilmesi doğada azot döngüsünün bir parçasıdır. Doğada azot döngüsü; havada serbest halde bulunan azotun atmosferik fiksasyon olarak adlandırılan yüksek enerji

fiksasyonu (kozmetik radyasyon, şimşek) ile oluşan amonyak ve nitratların yağmur suyu ile yeryüzüne taşınması sonrasında simbiyotik yolla veya serbest yaşayan organizmalarca (mavi yeşil algler ve bakteriler) biyokimyasal olarak organik forma indirgenmesi ve bunun sonucunda organik maddenin parçalanarak mineralleşmesi (amonifikasyon, nitrifikasyon ve denitrifikasyon) ile mineral azot (NO_3^- ve NH_4^+) oluşumu ve son olarak mineral azotun bitkilerce alınıp tekrar organik yapıya katılmasıdır (Arslan & Güler, 2002).



Şekil 3.1. Azot Döngüsü (Powlson, 1993)

İmmobilizasyon, mineralizasyon, nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçlerinin sonuçlarına göre her azot türünün değişimi değişebilir (Keeney, 1973; Reddy ve Graetz,

1987; Yiğit, 2015). İnorganik azot türlerinin organik türlere mikrobiyal dönüşümü immobilizasyon olarak adlandırılır. Organik azot türlerinin inorganik türlere mikrobiyal dönüşümü ise mineralizasyon olayıdır. Nitrifikasyon ise indirgenmiş organik ve inorganik azotun oksijen varlığında oksidasyona uğramasıdır. Denitrifikasyon olayı ise anoksik koşullarda nitrit ve nitratın gaz formundaki azot veya diazot okside biyokimyasal ve mikrobiyal indirgenmesidir (Yiğit, 2015).

3.2. Azot Analiz Yöntemleri

Toprak numunelerindeki toplam azot içeriğinin belirlenmesi için sayısız yöntem vardır. Klasik azot determinasyon metodu Kjeldahl azot metodudur. Metot, sülfürik asit içinde yüksek sıcaklıklarda (genellikle 360-440 °C) örneklerin bir katalizör varlığında birkaç saat kaynatılmasını içerir. Bu koşullar altında organik N, amonyak formunda ardışık olarak damıtılan ve standartlaştırılmış mineral asitle titrasyonla belirlenen amonyum iyonuna dönüştürülür. Kjeldahl yönteminin evrenselliği, kesinliği ve tekrarlanabilirliği onu katı örneklerde N içeriğinin tahmin edilmesi için uluslararası olarak kabul edilmiş bir yöntem haline getirmiştir ve diğer tüm yöntemlerle karşılaştırılmasına yönelik standart olmasını sağlamıştır. (Thompson ve ark., 2004; Kpombrekou-A ve ark., 2006; Marcó ve ark., 2002). Bununla birlikte, yüksek nitrat içeriği olan örneklerde klasik Kjeldahl metodu çok etkili bir şekilde uygulanamamaktadır. Bu dezavantajın üstesinden gelmek için, Klasik Kjeldahl yönteminin, salisilik asit metodu (De Neve ve Hofman, 1998) ve potasyum permanganat metodu gibi çeşitli modifikasyonları geliştirilmiştir. Bozunma süresini azaltmak için, mikrodalga ve ultrason destekli bozunma prosedürleri geliştirilmiştir (Jaber ve ark., 2009; Pavlova ve ark., 2009; Liu, Zeng ve Jiang, 2013).

Bununla birlikte, Kjeldahl yönteminde üstesinden gelinmesi zor olan bazı dezavantajlar vardır. Bunlar, toplam azotun belirlenmesi için gerekli sürenin çok uzun olması ve bozunma esnasında toksik gazların ortaya çıkması sayılabilir. Tüm bu dezavantajlar göz önüne alındığında, daha hızlı ve çevre dostu prosedürlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

Toplam azot analizinde mikrodalga cihazının kullanıldığı ve kimyasal bozunmanın sonucunda numunelerdeki azot içeriğinin belirlenmesinde spektrofotometre cihazı yaygın

olarak kullanılmaktadır (Pavlova ve ark., 2009; Kamizake ve ark. 2003; Ferree ve Shannon 2001). Spektrofotometre cihazında 220 ve 275 nm absorbans aralığında toplam azot sonuçları elde edilir.

Liu, Zeng ve Jiang'ın 2013 yılında gerçekleştirdikleri çalışma ile katı numunelerde bulunan toplam azotu belirlemede iki aşamalı bir bozunma-UV spektrofotometrisi benimsemişlerdir. Yöntemde, ilk bozunma olayı numunelerdeki organik azotu amonyuma dönüştürmek ve ikinci bozunma ise amonyumun nitrata dönüştürülmesidir. Nitrat daha sonra UV spektrofotometri ile tespit edilir. Bu yöntemde bozunma koşulları optimize edilerek bazı katı numunelerin azot içeriğini belirlemek için kullanılmaktadır. Klasik Kjeldahl yöntemi ve iki aşamalı bozunma UV spektrofotometri yöntemiyle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. İki aşamalı bozunma UV spektrofotometri yöntemi daha hızlı, daha basit ve çok çeşitli numuneler için daha uygundur ayrıca yüksek nitrat içerikli numuneler için yöntem daha etkilidir. Optimal koşullar altında bozunma çözeltileri, iyon kromatografisi ile karakterize edilmektedir ve sonuçlar organik azotun çoğunun amonyuma (% 94'ten fazla geri kazanımlarla) dönüştüğünü göstermektedir. Optimal koşullar ile gerçek numunelerde eklenen standart bileşiklerin N geri kazanımları %88 ila %99 arasındadır. Çalışmada bahsedilen yöntem ile klasik Kjeldahl yöntemi (0,99 korelasyon katsayısı) ile iyi bir uyum sağlamıştır (Liu, Zeng ve Jiang, 2013).

Borba ve ark., 2014 yılında, toplam azotun (TN) belirlenmesi için Kjeldahl yöntemine alternatif bir yöntem olan alkalın persülfat bozunma tekniği üzerine çalışmışlardır. Klasik Kjeldahl yöntemine kıyasla çevreye karşı daha güvenilir alternatif bir yaklaşımdır. Örnekler, alkalın persülfat bozunması kullanılarak TN ve TP için bağımsız olarak analiz edilmiştir. Alkalın persülfat bozunma tekniğinin Kjeldahl bozunma yönteminden daha hassas, doğru ve daha az toksik reaktif kullanıldığı sonucuna ulaşılmıştır. Alkalın persülfat reaktifi 0.15 M NaOH içinde 0.15 M $K_2S_2O_8$ 'in çözündürülmesiyle hazırlanmıştır. Alkalın persülfat çözeltisi günlük olarak hazırlanmış ve kullanılmadığı zaman 4 °C'de saklanmıştır. Reaksiyon tüpüne 4 mL numune ve 2 mL alkalın persülfat çözeltisi ilave edilerek 2:1 oranında hazırlanmıştır. 120 °C'ye ayarlanmış termoreaktöre yerleştirilmiştir. 60 dakikanın sonunda, tüp oda sıcaklığında soğumaya bırakıldı. Soğutulan örnek, seyreltilerek iyon kromatografi cihazında analiz edildi (Borba ve ark., 2014).

Yüksek sıcaklıkta yakma, persülfat oksidasyonu ve ultraviyole oksidasyonunu içeren üç farklı bozunma yöntemi, toplam çözünmüş azot (TDN) ve toplam çözünmüş fosfor (TDP)'un rutin olarak belirlenmesi için kullanılır (Dafner, 2016; Sharp ve ark., 2002). Yüksek sıcaklıkta yakma yönteminde az miktarda örnek gerektiriyor olmasına rağmen pahalı ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Persülfat oksidasyonu yöntemi basit bir yöntem ve düşük ekipman maliyetine sahiptir (Bronk ve ark., 2000). Potasyum persülfat, ultraviyole oksidasyonu metodunda kullanılan en yaygın bozunma reaktifi olduğu bilinmektedir. TDN örneği genellikle potasyum persülfat ile bozundurulurken, TDP numunesi alkali veya asidik çözelti ile bozundurulabilir (Collos ve ark., 1993; Dafner ve Szmant, 2014; Lin ve ark., 2018).

Lin ve ark., 2018 yılında gerçekleştirdikleri çalışmalarında, toplam çözünmüş azot (TDN) ve toplam çözünmüş fosfor (TDP)'un tayini için ultraviyole oksidasyonu ve termal bozunma metotlarını birlikte kullanmışlardır. Çalışmada TDN ve TDP tek bir alkalın persülfat reaktifi ile eş zamanlı olarak okside edilerek, spektrofotometre ile ölçülmüştür (Lin ve ark., 2018).

Karasal ekosistemde çevresel durum tahmini için toprak ve tortulardaki toplam organik karbon (TOC) ve toplam azot (TN) içeriği önemli bir parametredir. Toprakta organik karbon ve organik azot bitki, hayvan, plankton ve antropojenik kaynakların parçalanmasıyla elde edilir. (Al-Kaisi ve ark., 2005; Qadir ve ark., 2006; Elbasiouny ve ark., 2014; Avramidis ve ark., 2015).

Avramidis ve ark., 2015 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada, yüksek sıcaklıkta (720 °C) katalitik yanma oksidasyon yöntemini uygulayarak tortu ve toprak örneklerinde Toplam Organik Karbon (TOC) ve Toplam Azot (TN) değerlerini eş zamanlı olarak belirlenmişlerdir (Avramidis ve ark., 2015).

Morales-Romero ve ark., 2015 yılında gerçekleştirdikleri bu çalışmada dünyanın birçok bölgesinde, yerel bitki topluluklarının doğal olmayan meralara dönüştürülmesiyle toprak besin içeriğinin önemli değişkenlerle ilişkili olduğundan bahsetmişlerdir. Meksika'da, bir milyondan fazla hektarlık bir alan, biyojeokimyasal sonuçları hakkında çok az bilgi sahibi olan meralara dönüştürülmüştür. Sonora eyaletinin bir bölgesinde toprak besinleri üzerindeki problemin nedenlerini anlamak için toprak karbon (C), azot (N) ve fosfor (P) dinamikleri üzerinde araştırma yapılmıştır. Karaçam otlaklarında kuru ve

yağmurlu mevsimlerde alınan toprak örneklerinde, toprakta bulunan organik karbon, toplam azot, toplam fosfor, mikrobiyal biyokütle, ekstrakte edilebilir fosfor ve mineral azot içeriği belirlenmiştir.



4. N₂O (DİAZOT OKSİT) EMİSYONUNUN EKOSİSTEME ETKİSİ

Nitrifikasyon ve denitrifikasyon sürecinde mikroorganizmaların aktivitesi için sıcaklık ve nem çok önemlidir. Bu sürecin optimum koşullarda gerçekleşmesi için toprak sıcaklığı 25 °C ile 35 °C arasında, pH 7 ile 9 arasında yaklaşık olarak nötr veya hafif bazik ve oksijen içeriği doymuş olmalıdır. Bu şartlar oluşmadığında mikroorganizmalar dönüşümü tam olarak gerçekleştiremez ve denitrifikasyon aşamasının son ürünü olan diazot (N₂) yerine diazot oksit (N₂O) gazı oluşmaktadır. Hem nitrifikasyon hem de denitrifikasyon sürecinde topraktaki nem içeriği ve sıcaklık artışına bağlı olarak N₂O gazının oluşumu da artmaktadır. Toprak sıcaklığı ve nem sadece N₂O üretimini değil N₂O gazının atmosfere yayılışını da hızlandırmaktadır (Arslan ve Güler, 2002; Hofstra ve Bouwman, 2005).

Denitrifikasyon süreci; topraktaki oksijen miktarı, nitrat (NO₃⁻) ve organik karbon (C) seviyeleri de dahil olmak üzere üç temel kontrol edici faktör tarafından belirlenmektedir. Tüm bu faktörler sağlanırsa diazot (N₂), denitrifikasyon süreci sonunda birincil son ürün olarak ortaya çıkmaktadır. Denitrifikasyon süreci tam olarak gerçekleşmezse, ara ürün olarak NO ve N₂O sera gazları yayılarak küresel ısınmaya neden olmaktadır. Atmosferde bulunan sera gazları kızılötesi radyasyonunu absorblar ve ısınin derecesini artırır bundan dolayı atmosfer sıcaklığı da artmaktadır. Bu sürece küresel ısınma potansiyeli (GWP-Global Warming Potential) denir. GWP, her bir gazın karakteristiğidir ve atmosferdeki ömrünün bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Atmosferde en fazla bulunan emisyon gazı CO₂ gazı olduğundan GWP, CO₂ ile derecelendirilir. 100 yıllık bir zaman dilimi dikkate alındığında, metan (CH₄) ve diazot oksit (N₂O) gazlarının birim kütlelerinin sırasıyla küresel ısınma potansiyelleri karbondioksit (CO₂) birim külesinden 25 ve 298 kat daha fazla olduğu kabul edilmektedir (Deng, 2013; Signor ve Cerri, 2013).

Aynı zamanda, diazot oksit (N₂O) atmosferde çok uzun zaman boyunca kalan ozon tabakasını incelten bir alt tabaka görevi görür. Genel olarak, küresel ısınma üzerindeki etkisinden ve stratosferik ozon tahribatına önemli ölçüde neden olduğundan bahsedilmektedir. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörlerin karmaşıklığı ve topraktaki N₂O üreten süreçler üzerindeki etkileşimler ve ölçümlerle ilgili belirsizlikler, küresel N₂O bütçelerinin geliştirilmesini belirsiz kılmıştır. Farklı kimyasal gübrelerden gelen diazot oksit emisyonları, ölçüm çalışmalarında çok fazla vurgulanmış olmasına rağmen gübre

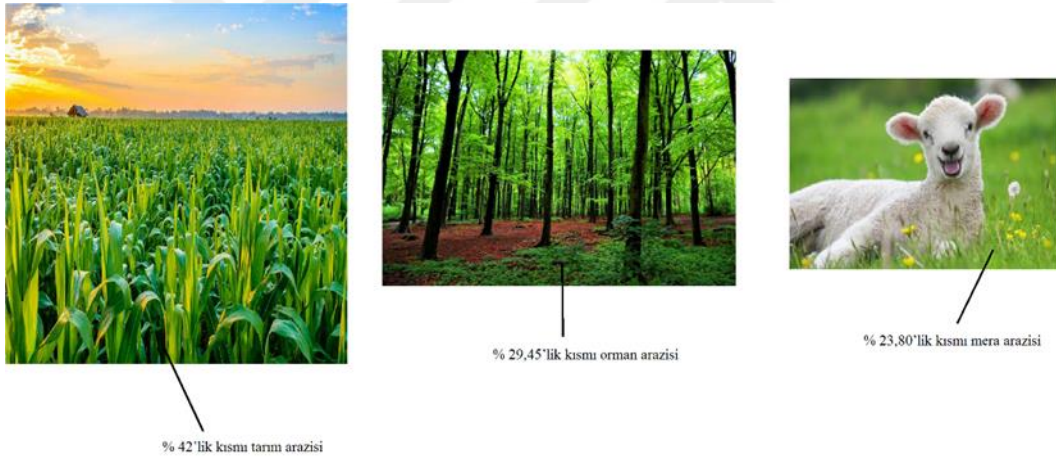
uygulamalarından ve baklagil (N_2 sabitleme) ürünlerinden kaynaklanan emisyonlara çok az dikkat çekilmiştir.



5. MATERİYAL ve YÖNTEM

5.1. Çalışma Alanı

Eskişehir, İç Anadolu Bölgesi'nin kuzeybatısında yer almaktadır. Kuzeyde Karadeniz, kuzeybatıda Marmara, batı ve güneybatıda Ege Bölgesi ile komşudur. Eskişehir, İç Anadolu, Batı Karadeniz, Akdeniz ve kısmen Ege iklimlerinin etki alanı içinde olmasından kaynaklı, kendine özgü bir iklime sahiptir. Şehrin toplam alanı 13.925 km²'dir ve %42'lik kısmı tarım arazisi, %29,45'lik kısmı orman arazisi ve %23,80'lik kısmı da mera arazisinden oluşmaktadır (http- 2). Eskişehir'de farklı alan kullanımlarına ait görsel Şekil 5.1'de bulunmaktadır.



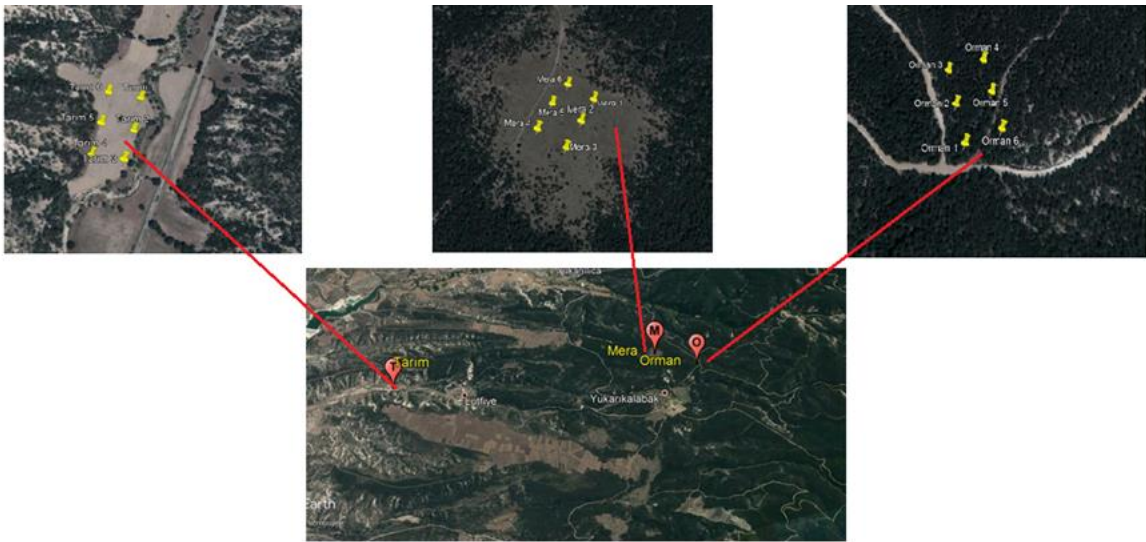
Şekil 5.1. Eskişehir'de farklı alan kullanımları

Çalışmada kullanılacak olan toprak örnekleri iki farklı alandan alınmıştır. Bu çalışma alanları Eskişehir, Muttalip Mevki ve Yukarıkalabak Mevki'dir (Şekil 5.2 ve Şekil 5.3). Yukarıkalabak Mevki konum olarak şehir merkezine yaklaşık olarak 30 km uzaklıktadır. Yukarıkalabak Mevki bölgesinden Google Earth programı kullanılarak tüm alanlar için eş yükselti dikkate alınarak tarım, mera ve orman alanlarında çalışma yapılmıştır. Eş yükseltiye sahip alanlar için tarım (buğday), mera ve orman arazisi (karaçam) için derinliğe bağlı olarak ızgara örnekleme yöntemi kullanılarak toprak örnekleri alınmıştır. Muttalip Mevki ise şehir merkezine yakın bir konumdadır. Aynı şekilde eş yükseltiye sahip farklı tarım alanları (buğday, mısır, fiğ) ve mera alanından rastgele örnekleme yöntemi

uygulanarak derinliğe bağılı toprak örnekleri alınmıştır. Saha çalışmasında örnekleme noktalarının koordinatları GPS cihazı ile ölçülmüştür.



Şekil 5.2. Muttalip Mevki Çalışma Alanı



Şekil 5.3. Yukarıkalabak Mevki Çalışma Alanı

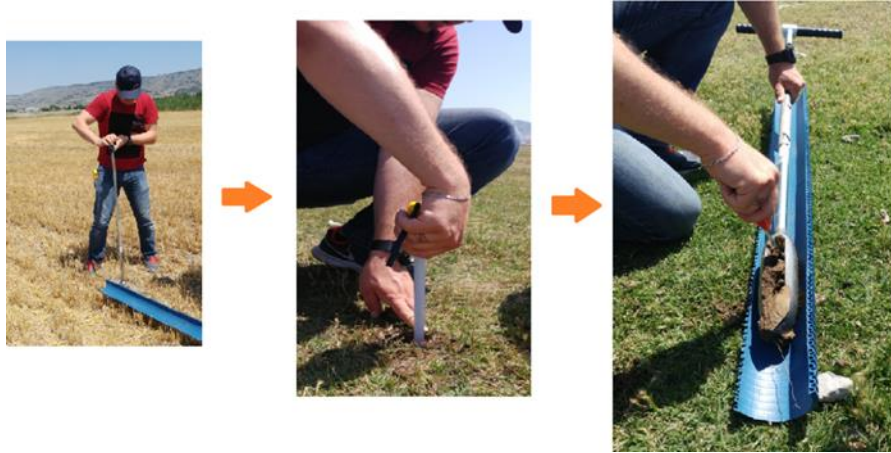
5.2. Arazi Çalışması

5.2.1. Eskişehir-Muttalip Mevki’inde yapılan toprak örnekleme

Bu çalışmada 05.07.2018 tarihinde Eskişehir, Muttalip Mevki bölgesinde bulunan mera noktasından, ekili olan mısır ve fiğ tarlasından ve hasat edilmiş buğday tarlasından derinliğe bağlı olarak rastgele örnekleme yöntemi kullanılarak toprak örnekleri alınmıştır. Tablo 5.1’de alınan toprak örneklerinin koordinatları verilmiştir. Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’de Muttalip alanında yapılan örneklemeye ait görseller bulunmaktadır. Tablo 5.1’de Muttalip Mevki’inden alınan toprak örneklerinin konumları verilmektedir.

Tablo 5.1. Muttalip Mevki’inden derinliğe bağlı olarak alınan toprak karotlarının konumları

<i>Karot Adı</i>	<i>Derinlik, cm</i>	<i>Enlem</i>	<i>Boylam</i>
<i>Mera</i>	0-30	39,83609	30,5606
<i>Mısır</i>	0-30	39,83304	30,5643
<i>Buğday</i>	0-30	39,83384	30,5635
<i>Fiğ</i>	0-30	39,83342	30,5631



Şekil 5.4. Muttalip bölgesinde yapılan örnekleme



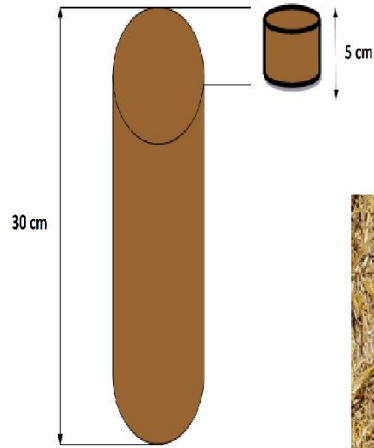
Şekil 5.5. *a: fiğ tarlası, b: buğday tarlası ve c: mısır tarlası örnekleme*

5.2.2. Eskişehir-Yukarıkalabak Mevki’inde yapılan toprak örnekleme

16.10.2018 tarihinde Eskişehir, Yukarıkalabak Mevki’inde bulunan tarım, orman ve mera alanlarından ızgara örnekleme metodu kullanılarak her bir alan (tarım, orman ve mera) için 0,5 ha’lık alanlar belirlenmiştir. Bu alanlardan 50 metrelik mesafelerle 6 farklı noktadan toprak örnekleri alınmıştır, toprak örnekleri her alan için 6 karot ve her karottan bölünen 6 katmandan (0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm, 20-25 cm, 25-30 cm) oluşmaktadır. Tarım arazisinde bir önceki yıl buğday ekili olup, örnekleme esnasında ekili olmayıp nadasa bırakılmıştır. Orman arazisi ise sık karaçam ağaçlarından oluşmaktadır. Mera arazisi ise sık karaçam ağaçlarının arasında bulunmaktadır. Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de sahada toprak örneklemesine ait görseller bulunmaktadır. Tablo 5.2’de Yukarıkalabak örnekleme alanına ait koordinatlar bulunmaktadır.



Şekil 5.6. Tarım, orman ve mera alanları



Şekil 5.7. Sahada toprak örnekleme

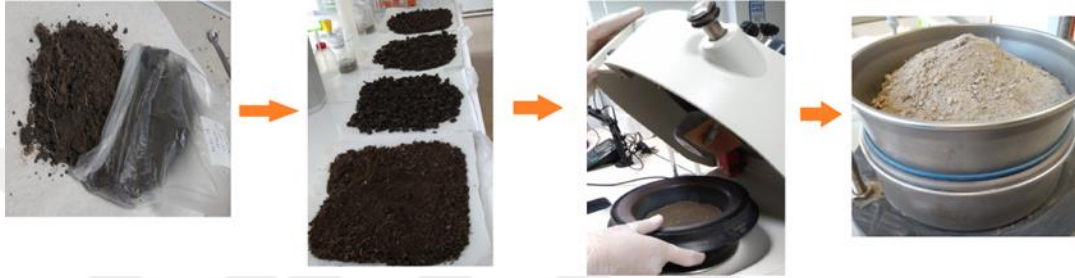
Tablo 5.2. *Yukarıkalabak Mevki'inden derinliğe bağlı olarak alınan toprak karotlarının konumları*

<i>Karot Adı</i>	<i>Derinlik, cm</i>	<i>Enlem</i>	<i>Boylam</i>
<i>Tarım 1</i>	<i>0-30</i>	<i>278440</i>	<i>4383524</i>
<i>Tarım 2</i>	<i>0-30</i>	<i>278428</i>	<i>4383473</i>
<i>Tarım 3</i>	<i>0-30</i>	<i>278416</i>	<i>4383425</i>
<i>Tarım 4</i>	<i>0-30</i>	<i>278370</i>	<i>4383430</i>
<i>Tarım 5</i>	<i>0-30</i>	<i>278380</i>	<i>4383482</i>
<i>Tarım 6</i>	<i>0-30</i>	<i>278388</i>	<i>4383537</i>
<i>Orman 1</i>	<i>0-30</i>	<i>277360</i>	<i>4377378</i>
<i>Orman 2</i>	<i>0-30</i>	<i>277345</i>	<i>4377427,2</i>
<i>Orman 3</i>	<i>0-30</i>	<i>277331,1</i>	<i>4377475,4</i>
<i>Orman 4</i>	<i>0-30</i>	<i>277378</i>	<i>4377488,6</i>
<i>Orman 5</i>	<i>0-30</i>	<i>277391,3</i>	<i>4377442,2</i>
<i>Orman 6</i>	<i>0-30</i>	<i>277405,8</i>	<i>4377394,6</i>
<i>Mera 1</i>	<i>0-30</i>	<i>277860</i>	<i>4378215</i>
<i>Mera 2</i>	<i>0-30</i>	<i>277839</i>	<i>4378166</i>
<i>Mera 3</i>	<i>0-30</i>	<i>277814</i>	<i>4378120</i>
<i>Mera 4</i>	<i>0-30</i>	<i>277765</i>	<i>4378150</i>
<i>Mera 5</i>	<i>0-30</i>	<i>277789</i>	<i>4378196</i>
<i>Mera 6</i>	<i>0-30</i>	<i>277814</i>	<i>4378232</i>

5.3. Laboratuvar Çalışmaları

Toprak numunelerinin ön işlemleri, pH, elektriksel iletkenlik, yağın yoğunluğu, azot ve organik karbon analizleri Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Araştırma Laboratuvar'larında ve tane boyut analizi ise Kimya Mühendisliği, Araştırma Laboratuvar'ında gerçekleştirilmiştir. Alanlardan alınan numuneler laboratuvar ortamında ilk önce ön işlemlerden geçirilerek yapılacak analizlere hazır hale getirilmiştir. Ön işlem

olarak hava ile kurutma işlemi yapılmıştır. Topraklar tamamen kurutulduktan sonra otomatik havan cihazı ile öğütme işlemi yapılmış ve son olarak elekten geçirilerek analize hazır hale getirilmiştir. Toprak örneklerine uygulanan ön işlemler Şekil 5.8’de görülmektedir.



Şekil 5.8. Toprak örneklerinin analize hazır hale getirilmesi

5.3.1. Yığın yoğunluğu ve nem içeriği

Laboratuvara getirilen toprak numuneleri için ilk olarak yığın yoğunluğu analizi yapılmıştır. Bir yığını oluşturan parça sistemlerinin yoğunluğuna “Yığın yoğunluğu” denir. Yığın yoğunluğu, yığını ortaya çıkaran tanelerin parça yapısı ve boşluk oranı ile ilgilidir. Yığın yoğunluğu analizleri nütrient birikim hızlarının belirlenmesi yoğunluğunun hesaplanabilmesi için gerçekleştirilmiştir (Avdan, (2015); Gülçur, (1974); Smith, (2000)).

Yığın yoğunluğu ve nem içeriği analizleri için 10 ml hacimli küvetlere homojenleştirilen toprak örneklerinden eklenerek tartılmıştır. Küvetler, 105°C sıcaklıktaki etüvde (Nüve Dry Air Sterilizer FN 055) sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur. Kurutulduktan sonra tekrar tartılarak 1 ve 2 nolu denklemler kullanılarak yığın yoğunluğu ve nem içeriği hesaplanmıştır. Yığın yoğunluğu analizine ait görsel Şekil 5.9’da verilmiştir.

$$\text{Yığın Yoğunluğu (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Kuru Toprak Kütlesi (g)}}{\text{Kap Hacmi (cm}^3\text{)}} \quad (5.1)$$

$$\text{Nem İçeriği (g/g)} = \frac{\text{Islak Toprak Kütlesi (g)} - \text{Kuru Toprak Kütlesi (g)}}{\text{Kuru Toprak Kütlesi (g)}} \quad (5.2)$$

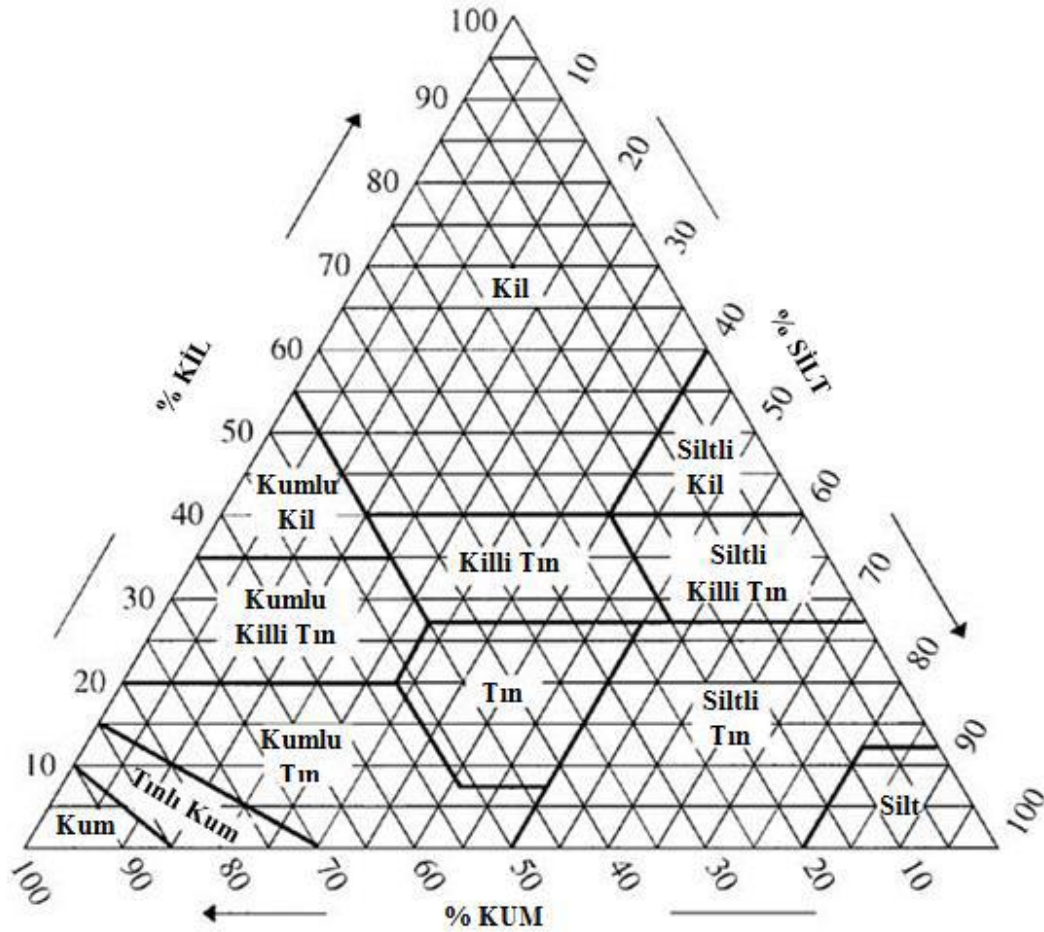


Şekil 5.9. a: Küvete toprağın konulması, b: toprağın küvette boşluk kalmayacak şekilde sıkıştırılması, c: örneğin hassas terazi ile tartım işlemi, d: örneklerin etüve (Nüve Dry Air Sterilizer FN 005) yerleştirilmesi

5.3.2. Tane boyut analizi

Bir toprak numunesinin tane boyut dağılımının belirlenmesi, toprak dokusunun fiziksel özellikleri hakkında değerlendirme yapmada ve topraktaki azot ve organik karbon miktarının yorumlanmasında son derece önemli bir etkisi vardır. Tane boyut için sınıflandırma ölçeği ilk olarak Atterberg (1912) tarafından önerilmiştir. Bugün bu ölçek farklı ulusal ve uluslararası seviyelerde tanınmakta olup ince toprak (kil, silt ve kum; tane çapı <2 mm) ve kaba elementler (çakıl ve taş; tane çapı >2 mm) olmak üzere iki ana fraksiyonu içermektedir. İnce toprak için partikül ebadı serisi genellikle üç boyutlu fraksiyonlarda 0.002 mm'den az ise kil fraksiyonu, 0.002 ila 0.050 mm arasında ise silt fraksiyonu ve 0.050 ile 2 mm arasında ise kum fraksiyonu olarak ifade edilir. Bazı durumlarda ince killer, siltler, kaba siltler, çok ince kumlar, ince kumlar ve kaba kumlar şeklinde daha ayrıntılı sınıflar kullanılır (Pansu, M. ve Gautheyrou, J. (2007)). Kum tanecikleri düzensiz şekil ve boyutlara sahiptirler. Kum taneciklerinin yoğun olduğu topraklar çok yüksek su geçirgenliğine sahiptir. Silt tanecikleri boyut ve özellikleri yönünden kum ve kil tanecikleri arasında yer alırlar. Su ve katyonları tutma özelliği gösterirler. Toprağın en küçük tane boyutunu oluşturan kil tanecikleri kollaidal özelliklere sahiptirler. Negatif elektriksel yüke sahip olduklarından, kimyasal olarak toprakların en aktif inorganik bölümünü oluştururlar. Yoğun miktarda kil tanecikleri içeren topraklar yüksek su tutma kapasitesi ve katyon değişim kapasitesine sahiptirler (Altınbaş, 2004).

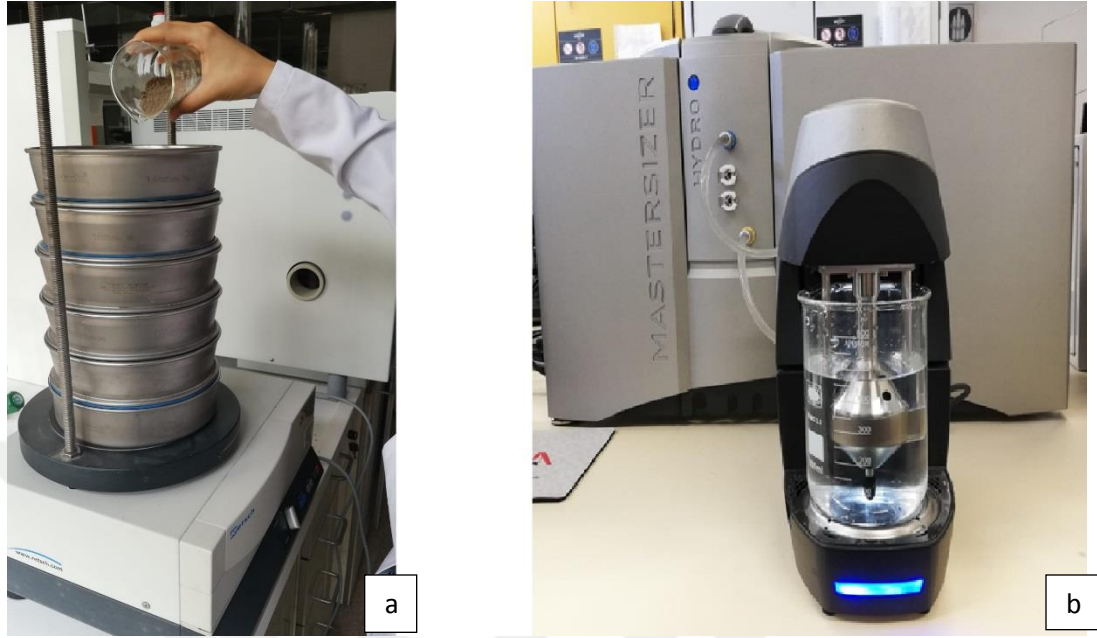
Bir toprak numunesinin tane boyut dağılımının belirlenmesi toprağın içerdiği kum, silt, kil yüzdelere bakılarak, toprak bünye (tekstür) üçgeni kullanılarak yapılmaktadır. Toprak bünye üçgeni Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Kum içerikli topraklar yapısında %70'ten daha fazla kum bulundururlar. Bu tür toprakların organik madde içeriği ve su tutma kapasiteleri düşüktür. Tınlı toprakların kum, silt, kil içeriği yaklaşık olarak aynı olmakla birlikte bu tür topraklar besin maddelerini ve kirleticileri yeteri kadar kil içermeleri sebebiyle kolaylıkla tutmaktadır. İşlenmesi zor olan kil bünyeli toprakların ise su tutma kapasiteleri yüksek, su geçirgenlikleri düşüktür (Avdan, 2015; Altıntaş ve ark., 2004; Ergene, 1997).



Şekil 5.10. Tekstür üçgeni (Avdan, 2015)

Toprak bünye gruplarının temel özellikleri üç ana başlık altında toplanabilir. İlk olarak kum bünyeli topraklardan bahsetmek gerekirse yapısında %70'den fazla kum kümesini içerirler. Organik madde miktarının düşük olduğu koşullarda ve kil oranının az olması sebebiyle, kum tanecikleri birbirine bağlanamaz ve tek tane yapı şeklinde bulunurlar. Bitki besin maddelerini tam olarak içermediklerinden tarımsal üretkenlikleri düşüktür. Tın bünyeli topraklar ise kum, silt ve kil kümelerinin yaklaşık aynı oranlarda bulunduğu toprak sınıfıdır. Kil yoğunluğunun yeterince bulunması sebebiyle bitki besin maddeleri toprakta tutunabilmektedir. Son olarak, kil bünyeli topraklardan bahsetmek gerekirse bu toprakların işlenmeleri zordur. Bütün toprak bünyeleri içinde en yüksek boşluk hacmine sahiptirler. Bitki besin maddelerini tutma ve depolama yetenekleri yüksektir. Kil içeriklerinin yüksek olması nedeniyle toprağın ekim öncesinde işlenmesi oldukça zordur. Bu tür sınıfa ait topraklar genellikle mera alanı olarak kullanılması önerilir (Altınbaş, 2004).

Toprak örneklerinin içerisinde bulunan kum, silt ve kil yüzdesinin belirlenmesi için elek analizi ve partikül boyut analizi gerçekleştirilmiştir. Elek analizi için oda sıcaklığında kurutulan ve homojenleştirilen toprak örnekleri 2 mm-0,5 mm arasında farklı çaplara sahip elekler yardımıyla elenmiştir. 0,5 mm dane boyutundan daha küçük örnekler için Kimya Mühendisliği Araştırma Laboratuvarında (Malvern Mastersizer 3000 Partikül Boyut Analiz Cihazı) boyut analizi gerçekleştirilmiştir. Tane boyut analizine ilişkin görsel Şekil 5.11'de verilmiştir.

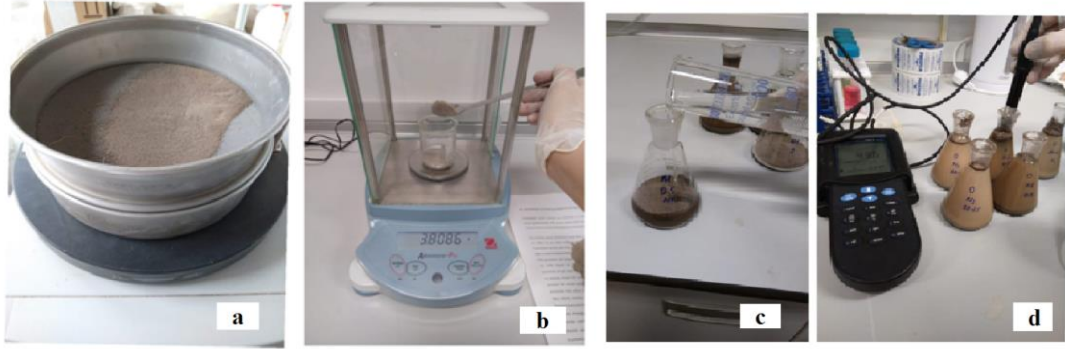


Şekil 5.11. a: elek analizi ve b: partikül boyut analizine ait görsel

5.3.3. pH ve elektriksel iletkenlik analizi

Toprağa uygulanacak olan ölçüm yöntemlerinin seçilmesinde önemli bir etken olan pH analizi uygulama hızı ve pratikliği ile rutin bir laboratuvar çalışması haline gelmiştir. Bununla birlikte, pH sonuçları araştırmacıya önemli bilgiler sunar. Agronomik bir bakış açısına göre, pH ilk olarak toprak verimliliğinin bir göstergesidir. pH sonuçları toprağın olası kimyasal bozunması, belirli toksik tuzların varlığı veya mikrobiyal aktivite hakkında bilgi verir. Nemdeki mevsimsel değişimler ve özellikle bu değişimlerin sıklığı toprak çözeltisindeki protonların hidroliz yoluyla serbest bırakılmasına neden olur. pH değeri 5,5'in altında serbest alüminyum, pH değeri 6,5'in üstünde ise eser elementler toprak bünyesinde mevcut olmayabilir (Pansu ve Gautheyrou, 2007).

Hava ile kurutulmuş toprak örneği, 500 mikrometre (μm)'lik elekten geçirilir ve şilifli erlene alınarak toprak örneğine saf su (1:5) ilave edilir, dakikadaki devir sayısı (rpm) 200'e ayarlanan (Heidolph Unimax 2010) çalkalayıcıda 30 dk çalkalama yapılır. Yaklaşık 30 dk toprağın çökmesi beklenir, pH metre cihazı (Orion Star A329) ile pH ve elektriksel iletkenlik okuması yapılır (Şekil 5.12).



Şekil 5.12. a: toprak örneklerinin elenmesi, b: örneklerin tartımı, c: örneklerin ekstraksiyon için hazırlanması ve d: pH ve EC probuları kullanılarak pH ve EC ölçümü

5.3.4. Toprak nitrat azotu ve amonyum azotunun belirlenmesi

Toprak örneklerinde bulunan inorganik azot formlarının belirlenmesinden önce KCl çözeltisi ile 1:10 oranında hazırlanan örnekler, çalkalayıcıda 160 rpm'de 30 dk boyunca çalkalanmıştır. Çalkalayıcıdan alınan örneklerin sediment kısımlarının çökmesi için 5-10 dakika beklenilmiştir. Sedimentten ayrılan süpernatantlar santrifüj tüplerine aktarılıp, 6000 rpm'de 15 dakika santrifüj (Hettich Universal 320R Santrifüj) edildikten sonra şırınga ucu filtre ile filtrasyon işlemi tamamlanmıştır. Filtrasyon işleminin sonunda toprak örneklerin ekstraksiyonu son bulmuştur (Şekil 5.13).

Nitrat ve amonyum miktarlarının belirlenmesi için KCl çözeltisi ile ekstraksiyonu yapılan örneğin nitrat ve amonyum probu ile mg/L biriminden analizleri yapılmıştır (Şekil 5.14).



Şekil 5.13. Ekstraksiyon örneklerinin hazırlanması



Şekil 5.14. Nitrat ve amonyum probu ile ölçümlerin yapılması

5.3.5. Kjeldahl yöntemi ile toplam azotun belirlenmesi

Geniş literatür taraması ve toplam azotu belirlemeye yönelik deneme çalışmalarının değerlendirilmesiyle toprakta toplam azot miktarının belirlenmesi için Kjeldahl yaş yakma yöntemi kullanılmasına karar verilmiştir (Urban, 1971; Faithfull, (2002); Pansu ve Gautheyrou, (2007)). Bu yöntemle azot sülfürik asitle amonyum sülfata dönüşmekte ve amonyum sülfattan bazik ortamda oluşan amonyak, borik asite bağlanarak amonyum borat olarak yakalanmaktadır. Amonyum borat 0,1 N sülfürik asit (H_2SO_4) ile titre edilerek harcanan H_2SO_4 hacminden toplam azot miktarı hesaplanmıştır.

Hava ile kurutulmuş ve 500 μm 'lik elekten geçirilmiş toprak örneği Kjeldahl yakma tüplerine eklenmiştir. Tüp üzerine Kjeldahl tablet, hidrojen peroksit (H_2O_2), konsantre sülfürik asit ve bir miktar kaynama taşı ilave edilmiştir. Kjeldahl yakma cihazına

yerleştirilmiş olan tüpler için 2 saatlik tepkime süreci başlatılmıştır. 2 saatlik tepkime sürecinin sonunda tüpler soğuduktan sonra her bir tüp distilasyon ünitesine yerleştirilmiştir. Distilasyon ünitesinin diğer kısmında 300 ml'lik erlen içerisinde borik asit çözeltisi ve Tashiro belirteci bulunmaktadır. Distilasyon esnasında saf su ve NaOH kullanılır. Yoğunlaşan amonyum borat, borik asit çözeltisine tutunur. Tashiro indikatörü damlatılmış borik asit çözeltisinde amonyum boratların tutunmasından kaynaklı renk değişimi gözlemlenmiştir. Son aşamada 0,1 N'lik H₂SO₄ ile titrasyon işlemi yapılır. Harcanan titrant miktarı kaydedilir. Şekil 5.15'de toplam azot analizine ait görsel verilmiştir.

Toplam toprak azotu aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

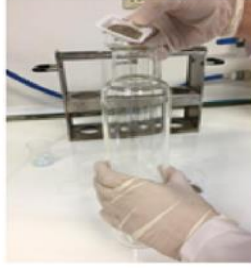
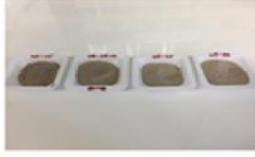
$$\% \text{ AZOT (N) } = \frac{(T-B) * N * 1,4}{S} \quad (5.3)$$

T: Titrasyonda kullanılan asit (ml)

B: Tanık titrasyonunda kullanılan asit (ml)

N: Asitin normalitesi

S: Alınan örnek miktarı (g)' nı simgelemektedir.



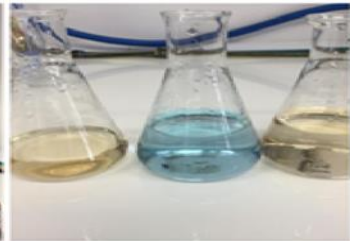
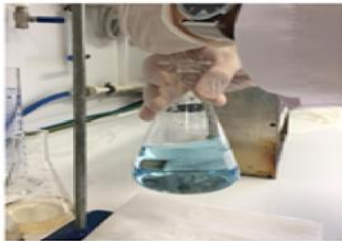
Kjeldahl tüplerinin hazırlanması



Kjeldahl cihazına tüplerin yerleştirilmesi



Distilasyon aşaması



Titrasyon aşaması

Şekil 5.15. Toplam azot analizi

5.3.6. Toplam organik karbon (Modifiye Walkley-Black) analizi

Hava ile kurutulmuş ve 500 µm'lik elekten geçirilmiş toprak örneği 105 °C'de 2 saat bekletildikten sonra desikatörde soğutulmuştur. 500 ml'lik erlene kızdırma kaybı analizinden elde edilmiş %OM değeri düşük olan topraklardan 400 mg, yüksek olan topraklardan 200 mg alındıktan sonra K₂Cr₂O₇ çözeltisi eklenmiştir. Çeker ocak çalıştırılarak üzerine H₂SO₄ eklenir ve erlen yavaşça birkaç kez karıştırıldıktan sonra 30 dk soğumaya bırakılmıştır. 30 dakikanın ardından belli miktarda saf su eklenip manyetik karıştırıcıya alınmıştır. 10 mL H₃PO₄ ve 0,2 g NaF eklenir. Çözeltisinin tamamen karışmasından sonra ferroin indikatörü damlatılmıştır. 0,5 N FeSO₄.7H₂O ile titrasyon yapılarak çözeltinin dönüm noktasında harcanan FeSO₄.7H₂O hacmi kaydedilmiştir. Aynı işlemler, kör çözelti için de tekrarlanmıştır.

Aşağıdaki formülle %OC değeri hesaplanır.

$$\% \text{ Organik Karbon (OC)} = \frac{\left[10 - \left(S \left(\frac{10}{B}\right)\right)\right] * (3,9) * (100)}{m} \quad (5.4)$$

B: titrasyonda kör için harcanan FeSO₄ hacmi (mL)

S: titrasyonda örnek için harcanan FeSO₄ hacmi (mL)

m: toprak ağırlığı (mg)

5.3.7. Matematiksel modelle N₂O emisyon miktarının belirlenmesi

Ekili tarım toprağında organik ve sentetik azot içeren gübre kaynaklı N₂O emisyon miktarının belirlenmesinde aşağıdaki ampirik formüller kullanılmıştır (Rochette ve ark., 2018).

$$N_2O(\text{kumulatif}) = e^{3,91+0,0022P+0,0069minN-0,0032SAND-0,747pH+0,097 Tair} \quad (5.5)$$

N₂O (kumulatif) = Sentetik azot kaynaklı kumulatif emisyon miktarı (kg N₂O-N / ha)

P = Yağış (mm) (Mayıs – Ekim ayı arası düşen yağış)

minN = Uygulanan sentetik azot miktarı (kg N / ha)

Sand = Toprak kum içeriği (g / kg)

pH = Toprak pH'ı

Tair = Ortalama yıllık hava sıcaklığı (°C)

$$\mathbf{N_2O(kumulatif) = e^{2,251-0,0029SAND-1,282CROP}} \quad (5.6)$$

N₂O (kumulatif) = Organik azot kaynaklı kumulatif emisyon miktarı (kg N₂O-N / ha)

Sand = Toprak kum içeriği (g / kg)

Crop = Ekin türü (Yıllık= 0 ve Çok Yıllık= 1)

$$\mathbf{N_2O(EF)_{min} = -1,4 + e^{(-0,2982+0,00095P+0,0198Corg+0,0732Tair-0,4264crop)}} \quad (5.7)$$

N₂O(EF)_{min} = Uygulanan sentetik azot kaynaklı emisyon faktörü (kg N₂O-N / kg N)

P = Yağış (mm) (Mayıs – Ekim ayı arası düşen yağış)

Corganic = Toprak organik karbon içeriği (g C / kg)

Tair = Ortalama yıllık hava sıcaklığı (°C)

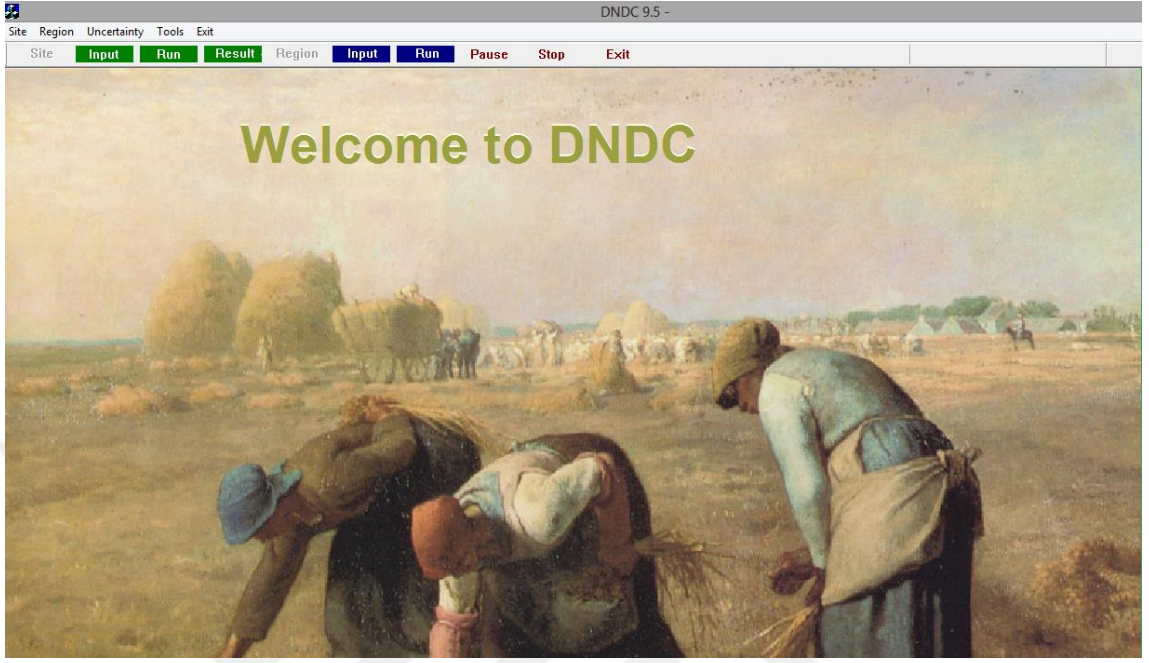
Crop = Ekin türü (Yıllık = 0 ve Çok Yıllık =1)

5.3.8. DNDC modeli ile N₂O emisyon miktarının belirlenmesi

İklim değişikliği, 21. yüzyılın en büyük sorunlarından biridir. Çeşitli sektörlerden kaynaklanan sera gazı (GHG) emisyonları, iklim değişikliğinin en önemli nedenlerindendir. DeNitrification-DeComposition (DNDC) modeli, tarlalardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarını simüle eder. Bu simülasyon modelini kullanarak gelecekteki sera gazı emisyonlarını incelemek amaçlanır. DNDC, 1992 yılında tarımsal kaynaklı N₂O emisyonlarını tahmin etmek için bir model olarak tanıtılmıştır (Li ve ark. 1992). DNDC'nin ilk versiyonu, tarım topraklarından kaynaklı N₂O, NH₃, CO₂ emisyonunu tahmin eden üç

alt modele sahiptir. İlk DNDC modelinden sonra, model belirli araştırma amaçlarına ve koşullarına uyacak şekilde daha yüksek versiyona getirilmiştir. Orjinal ve değiştirilmiş DNDC versiyonu arasındaki etkileşim, zamansal ve mekansal ortam koşuluna cevap olarak yeni sürüm oluşturmaya yardımcı olmaktadır. Bu etkileşim, DNDC'nin sürekli gelişmesini sağlamak için güçlü yönlerinden biridir. DNDC (Ver: 9.5), 2013 yılında geliştirilen en son sürümüdür (Li ve ark., 1992; Li ve ark., 2000; Min ve ark., 2017; Giltrap ve ark., 2010).

Denitrifikasyon- Dekompozisyon (DNDC) modeli, agroekosistemlerde karbon ve azot biyojeokimyasının proses odaklı bir bilgisayar simülasyon modelidir. Model iki bileşenden oluşmaktadır. Toprak iklimi, mahsul büyümesi ve ayrıştırma alt modellerinden oluşan ilk bileşen, toprak sıcaklığı, nem, pH, redoks potansiyeli (Eh), iklim, toprak yapısı, bitki örtüsü gibi ekolojik etkenler ve antropojenik etkenleri içermektedir. Nitrifikasyon, denitrifikasyon ve fermantasyon alt modellerinden oluşan ikinci bileşen; karbondioksit (CO_2), metan (CH_4), amonyak (NH_3), nitrik oksit (NO), azot oksit (N_2O) ve dinitrojen (N_2) emisyonlarını tahmin etmektedir. Her bir jeokimyasal veya biyokimyasal reaksiyonu parametreleştirmek için temel fizik, kimya ve biyoloji yasaları ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen ampirik denklemler dahil edilmiştir. Tüm model, C ve N biyojeokimyasal çevrimleri ve birincil ekolojik etkenler arasında bir köprü oluşturmaktadır. Şekil 5.16'da DNDC modelinin (Ver: 9.5) ana sayfası yer almaktadır.



Şekil 5.16. *DNDC modelinin ana sayfası*

Input (Girdi) sekmesine tıklanıldığında; (1) climate (iklim), (2) soil (toprak) and (3) farming management information (Tarımsal Yönetim Bilgisi) sayfalarının yer aldığı üç ana sayfa bulunmaktadır. The farming management information sayfası ekin türü, toprak işleme yöntemleri, gübreleme, sulama gibi uygulamaları içeren sekiz alt sayfadan oluşmaktadır. Şekil 5.17’de climate (iklim) ve Şekil 5.18’de soil (toprak) sayfasına ait görseller yer almaktadır.

Input Information

Climate | Soil | Cropping | Save |

Site

Latitude

Simulated years Record daily results ☐

Obtain meteorological data from your database

Select Climate Files Use 1 year climate file for all years ☐

N concentration in rainfall (mg N/l or ppm) =

Atmospheric background NH₃ concentration (ug N/m³) (0.06) =

Atmospheric background CO₂ concentration (ppm) (350) =

Annual increase rate of atmospheric CO₂ concentration (ppm/yr) =

Or read annual CO₂ concentrations from a file ☐

Select a format matching your climate file(s)

☐ Jday, MeanT, Prec

☒ Jday, MaxT, MinT, Prec

☐ Jday, MaxT, MinT, Prec, Radiation

☐ Jday, MaxT, MinT, Prec, WindSpeed

☐ Jday, MaxT, MinT, Prec, WindSpeed, Radi, Humi

☐ Jday, MaxT, MinT, Prec, WindSpeed, Humidity

☐ Jday, MaxT, MinT, Prec, Humidity

Prec (cm), Radiation (MJ/m²/day), WindSpeed (m/s), Humidity (%)

Şekil 5.17. Input (Girdi) sekmesi

Input Information

Climate | Soil | Cropping | Save |

Land-use

Define soil texture profile by specifying

top soil (0-10cm) texture ☒ Heterogeneous profile ☐

Soil structure

Bypass flow rate (0-1) Depth of water-retention layer(m) Drainage efficiency (0-1)

Initial soil organic C (SOC) content, partitioning and profile

SOC at surface soil (0-10cm) (kg C/kg soil)

SOC profile

Re-define ☐

Depth of top soil with uniform SOC content (m)

SOC decrease rate below top soil (0.5 - 5.0)

SOC partitioning

Re-define ☐ Bulk C/N

	V.I. litter	Labile litter	Resistant litter	Humads	Humus	Biochar
Fraction	0	0	0	0	0	0
C/N	5	25	100	10	10	500

Modify decomposition rates by multiplying a factor for SOC pools

☐ Litter Humads Humus

Initial N concentration at surface soil (mg N/kg) :

Microbial activity index (0-1)

Slope (0-90 degree)

Soil salinity index (0-100)

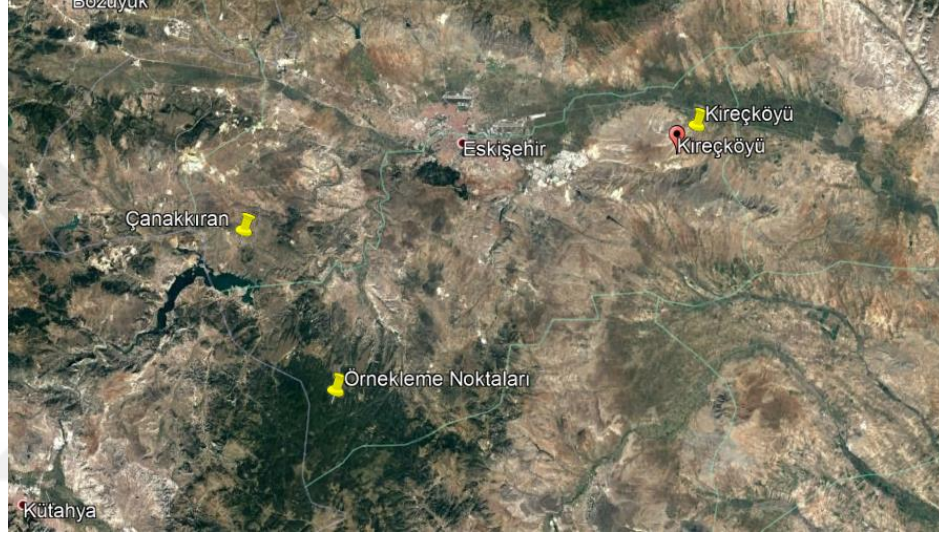
Rain water collection index

nitrate ammonium

Use SCS and MUSLE functions ☐

Şekil 5.18. Soil (toprak) sekmesi

Çalışmada, ekili ve nadasa bırakılmış tarım alanı ve mera alanına ait koordinatlar girilmiştir. En yüksek yıllık sıcaklık, en düşük yıllık sıcaklık ve yıllık ortalama yağış verileri Eskişehir Çanakkıran ve Kireçköyü meteoroloji istasyonlarından alınmıştır. Bu istasyonlara ait görsele Şekil 5.19’da yer verilmiştir.



Şekil 5.19. Meteoroloji istasyon noktaları

Tarım alanında, dekar başına uygulanan kg sentetik gübre miktarına T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı verilerinden ulaşılmıştır ([http- 3](http-3)).

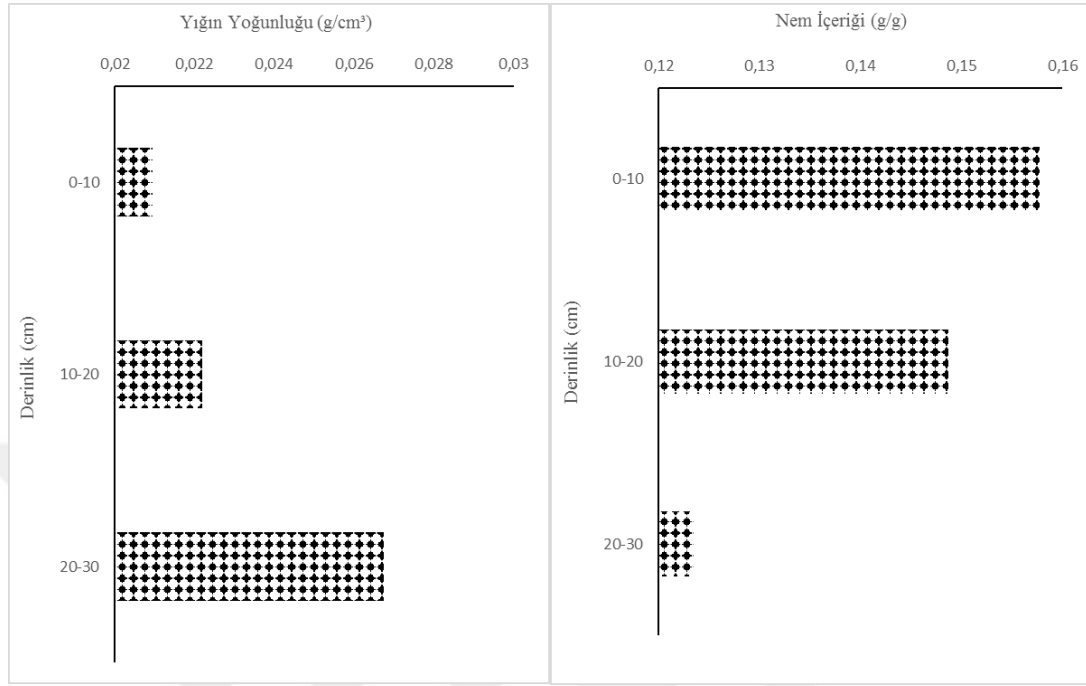
6. BULGULAR

Muttalip Mevki'inden tarım ve mera alanları olmak üzere her bir noktadan rastgele örnekleme yöntemi kullanılarak derinliğe bağlı toprak örnekleri alınmıştır. Yukarıkalabak Mevki'inden tarım, orman ve mera noktalarından ızgara örnekleme yöntemi kullanılarak her bir noktadan 36 örnek olmak üzere toplamda 108 örnek alınmıştır. Muttalip Mevki ve Yukarıkalabak Mevki'inden alınan toprak örneklerinin fiziksel özellikleri (pH, elektriksel iletkenlik, yığın yoğunluğu, nem içeriği, tane boyut analizi), tüm noktalarda ilk 10 cm'lik karotlar için inorganik azot kısmını oluşturan amonyum ($\text{NH}_4\text{-N}$) ve nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) azot miktarları (mg/l), organik azot, toplam azot ve azot birikimi değerlendirilmiştir.

Tez çalışmasında elde edilen veriler Office 365 A1 Plus Excel'de düzenlenerek grafiklendirilmiştir. Çalışma alanının haritaları Google Earth Pro kullanılarak oluşturulmuştur. Tarım ve mera alanlarından kaynaklı diazot oksit (N_2O) emisyon miktarları DNDC (Ver:9.5) programı ve literatürdeki matematiksel modellerle belirlenmiştir. Verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi Rstudio (Ver: 1.0.153) kullanılarak oluşturulmuştur.

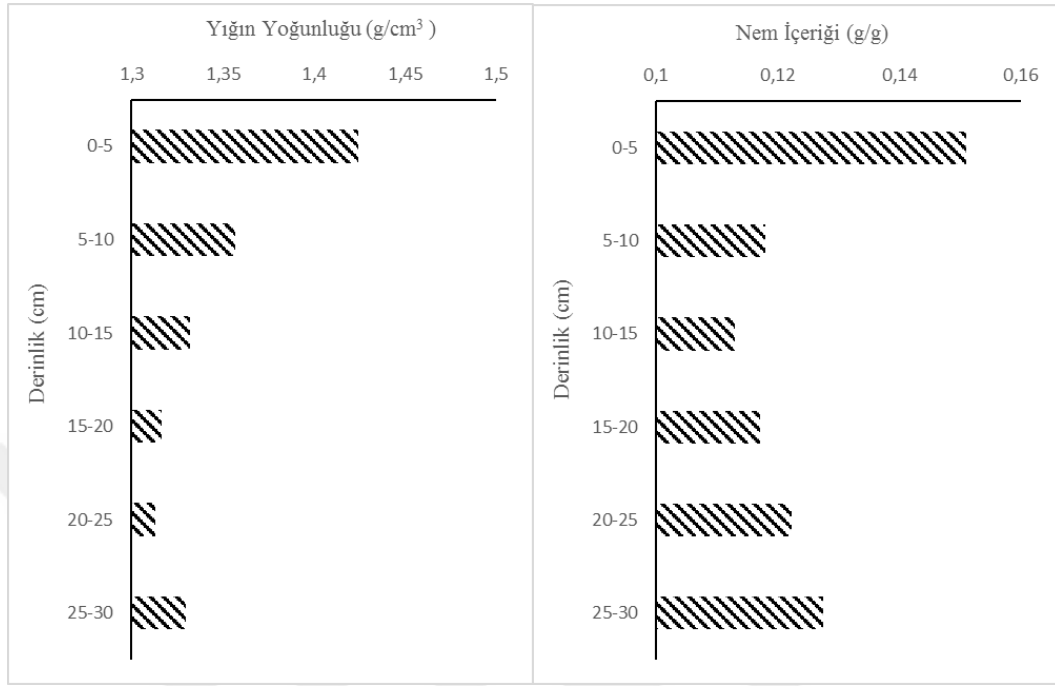
6.1. Örnekleme Noktalarının Fiziksel Özellikleri

Muttalip Mevki'inde bulunan mera alanından alınan toprak örneklerinin fiziksel özelliklerine ait grafikler Şekil 6.1'de verilmiştir. Derinliğe bağlı olarak kum yüzdesinin artmış olduğu gözlemlenmiştir. İlk 10 cm'lik kısımda toprağın fiziksel özelliği tekstür üçgenine göre kumlu tınlı özellik gösterirken derinliğe doğru inildikçe tınlı kum özelliği göstermektedir. Muttalip'de bulunan merada Şekil 6.1'de görüldüğü gibi derinliğe bağlı olarak yığın yoğunluğu değerleri artmaktayken nem içeriği değerlerinde azalma görülmektedir. Muttalip'de bulunan merada en yüksek yığın yoğunluğu değeri $0,03 \text{ g/cm}^3$ iken en düşük yığın yoğunluğu değeri $0,02 \text{ g/cm}^3$ 'dür. Nem içeriği değerlerin de ise en yüksek değer $0,16 \text{ g/g}$ iken en düşük değer $0,12 \text{ g/g}$ 'dir.



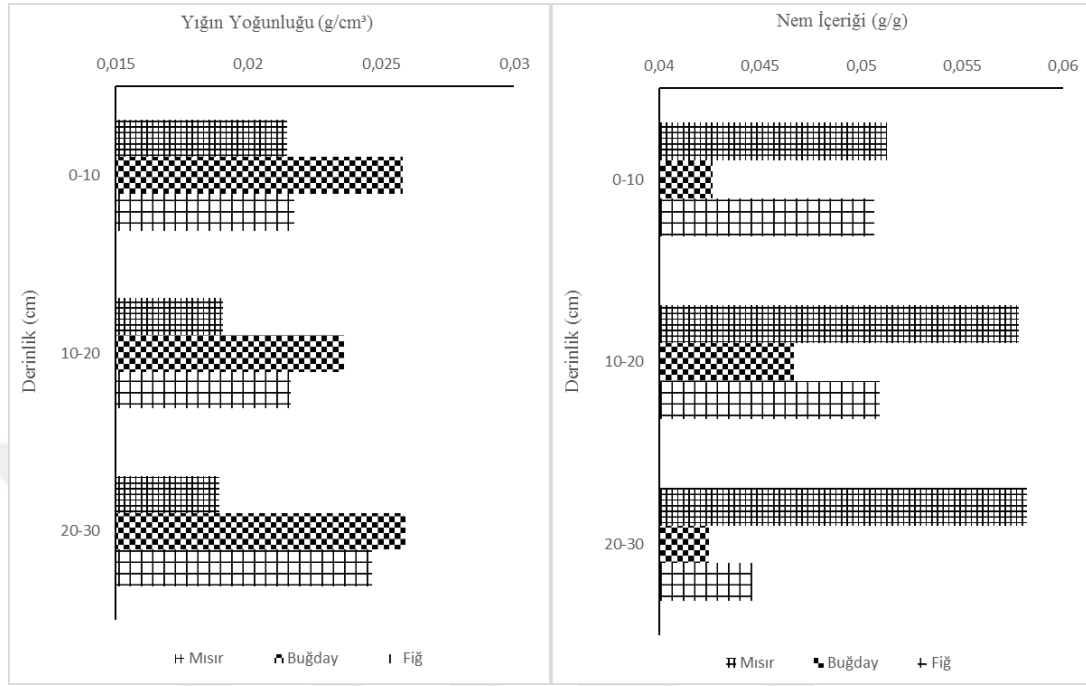
Şekil 6.1. Muttalip Mevki 'inde bulunan mera topraklarının yığın yoğunluğu ve nem içeriği değerlerinin derinlik ile değişimi

Yukarıkalabak'da bulunan merada ise Şekil 6.2'de görüldüğü gibi yığın yoğunluğu değerlerinde derinliğe bağlı değişimin olmadığı gözlemlenirken nem içeriği değerlerinde ise derinliğe bağlı azalma görülmektedir. Yığın yoğunluğu için en yüksek değer $1,42 \text{ g/cm}^3$ iken en düşük değer $1,31 \text{ g/cm}^3$ 'dür. Nem içeriği için ise en yüksek değer $0,15 \text{ g/g}$ iken en düşük değer $0,11 \text{ g/g}$ 'dir. Yukarıkalabak'da bulunan merada derinliğe bağlı olarak kum yüzdesinin artmış olduğu gözlemlenmiştir. Toprağın fiziksel özelliği tekstür üçgenine göre ilk 10 cm'lik kısımda kumlu tınlı özellik gösterirken derinliğe doğru inildikçe tınlı kum özelliği göstermektedir.



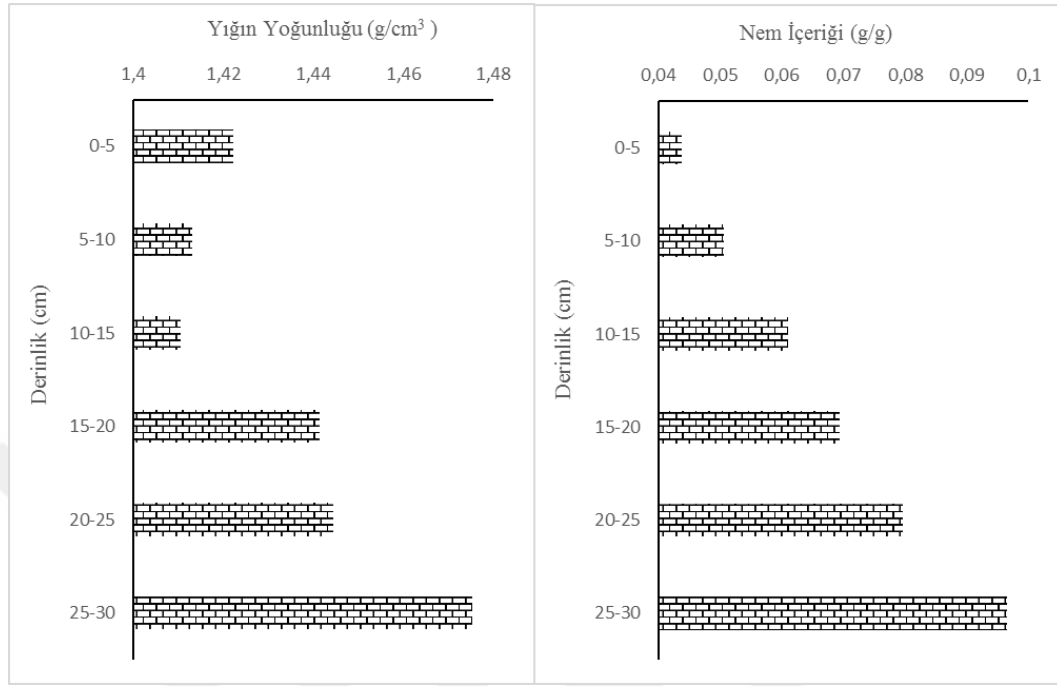
Şekil 6.2. Yukarıkalabak Mevki'inde bulunan mera topraklarının yığın yoğunluğu ve nem içeriği değerlerinin derinlik ile değişimi

Muttalip Mevki'inde ekili olan mısır ve fiğ tarlasından ve hasat edilmiş buğday tarlasından derinliğe bağlı olarak rastgele örnekleme yöntemi kullanılarak alınan toprak örneklerinin yığın yoğunluğu ve nem içeriğine ait grafik Şekil 6.3'de verilmiştir. Muttalip'de bulunan tarım alanlarında derinliğe bağlı olarak kum yüzdesinin artmış olduğu gözlemlenmiştir. Toprağın fiziksel özelliği tekstür üçgenine göre kumlu tın özelliği göstermektedir. Yığın yoğunluğu değerlerinde toprak derinliğine bağlı önemli bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Nem içeriği değerlerinde de aynı durum görülmektedir. Yığın yoğunluğu ve nem içeriği verileri birlikte değerlendirildiğinde yığın yoğunluğu için derinliğe doğru inildikçe çok az bir azalma gözlemlenirken nem içeriğinde tam tersi bir durum gözlemlenmektedir. En yüksek yığın yoğunluğu değeri 0,026 g/cm³ iken en düşük değer 0,019 g/cm³'dür. Bu değerler sırasıyla buğday ve mısır tarlasına aittir. Muttalip tarımında en yüksek nem içeriği değeri ise 0,058 g/g iken en düşük değer 0,043 g/g'dır.



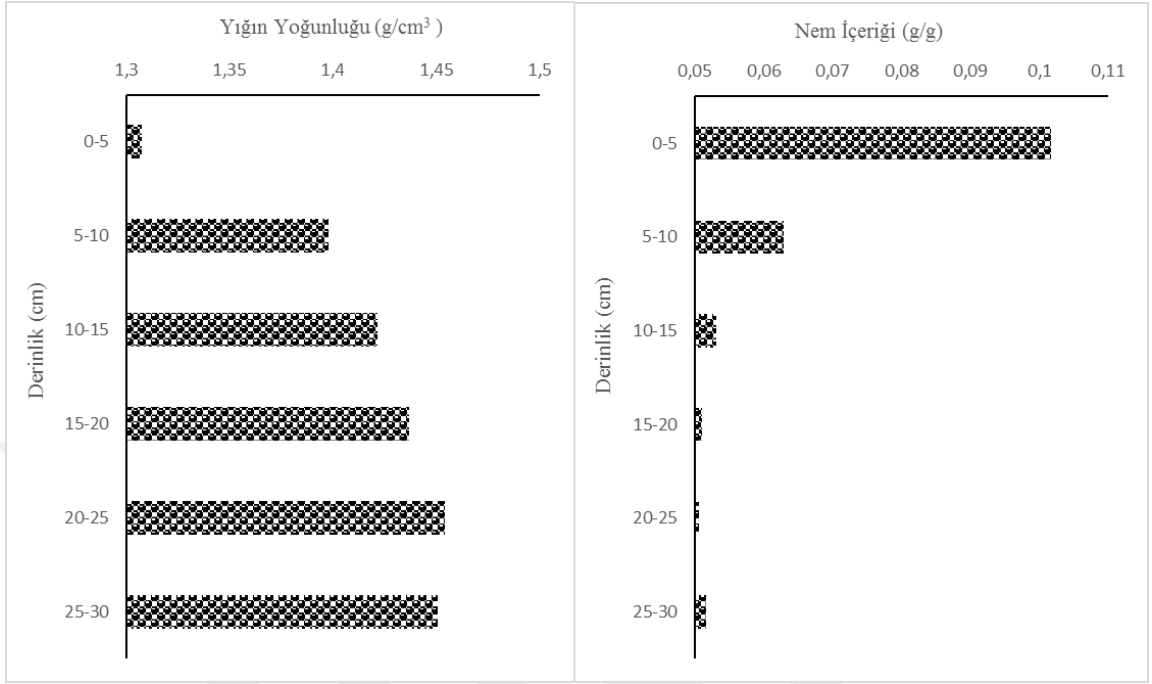
Şekil 6.3. Muttalip Mevki’inde bulunan tarım topraklarının yığın yoğunluğu ve nem içeriği değerlerinin derinlik ile değişimi

Yukarıkalabak’da bulunan tarım toprağının fiziksel özelliği tekstür üçgenine göre tınlı kum özelliği göstermektedir. Tarım alanına ait yığın yoğunluğu ve nem içeriği grafiği Şekil 6.4’de verilmiştir. Yığın yoğunluğu değerlerinde derinliğe bağlı önemli bir değişim gözlemlenmemiştir. Nem içeriği değerlerinde ise derinliğe doğru artış olduğu görülmüştür. En yüksek yığın yoğunluğu değeri 1,48 g/cm³ iken en düşük değer 1,41 g/cm³’dür. En yüksek nem içeriği değeri ise 0,10 g/g iken en düşük değer 0,04 g/g’dır. Yukarıkalabak’da bulunan tarım alanında da yığın yoğunluğu ve nem içeriği değerleri arasında ters ilişki olduğu görülmüştür.



Şekil 6.4. Yukarıkalabak Mevki'inde bulunan tarım topraklarının yığın yoğunluğu ve nem içeriği değerlerinin derinlik ile değişimi

Yukarıkalabak'da orman alanından ızgara örnekleme yöntemi kullanılarak alınan toprakların fiziksel özelliği tekstür üçgenine göre tınlı kum özelliği göstermektedir. Orman alanına ait yığın yoğunluğu ve nem içeriği grafiği Şekil 6.5'de verilmiştir. Yığın yoğunluğu değerlerinde derinliğe doğru artış olduğu gözlemlenirken nem içeriği değerlerinde ise derinliğe doğru azalış olduğu görülmüştür. En yüksek yığın yoğunluğu değeri $1,46 \text{ g/cm}^3$ iken en düşük değer $1,31 \text{ g/cm}^3$ 'dür. En yüksek nem içeriği değeri ise $0,10 \text{ g/g}$ iken en düşük değer $0,05 \text{ g/g}$ 'dir.



Şekil 6.5. Yukarıkalabak Mevki'inde bulunan orman topraklarının yığın yoğunluğu ve nem içeriği değerlerinin derinlik ile değişimi

Tablo 6.1. Topraktaki pH değerlerinin sınıflandırılması (Pansu ve Gautheyrou, 2007)

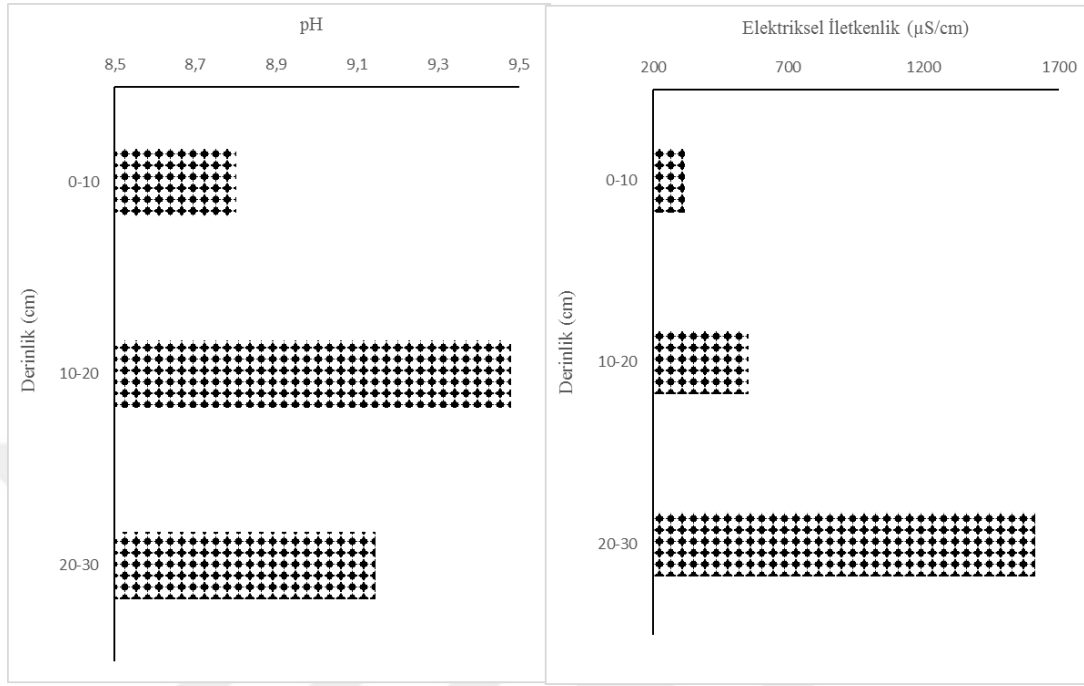
<i>pH değeri 3,5'ten düşük ise</i>	<i>Aşırı asidik</i>
<i>pH değeri 3,5 ile 5 arasında ise</i>	<i>Kuvvetli asidik</i>
<i>pH değeri 5 ila 6,5 arasında ise</i>	<i>Asidik</i>
<i>pH değeri 6,5 ila 7,5 arasında ise</i>	<i>Nötr</i>
<i>pH değeri 7,5 ila 8,7 arasında ise</i>	<i>Alkali</i>
<i>pH değeri 8,7'den yüksek ise</i>	<i>Kuvvetli alkali</i>

Tablo 6.2. *Toprakta tuzluluk sınıfı (Karaoğlu ve Yalçın, 2018)*

<i>Tuzluluk Sınıfı</i>	<i>EC (dS/m)</i>
<i>Tuzsuz</i>	<i>0-2</i>
<i>Hafif tuzlu</i>	<i>2-4</i>
<i>Orta tuzlu</i>	<i>4-8</i>
<i>Kuvvetli tuzlu</i>	<i>8-16</i>
<i>Çok kuvvetli tuzlu</i>	<i>>16</i>

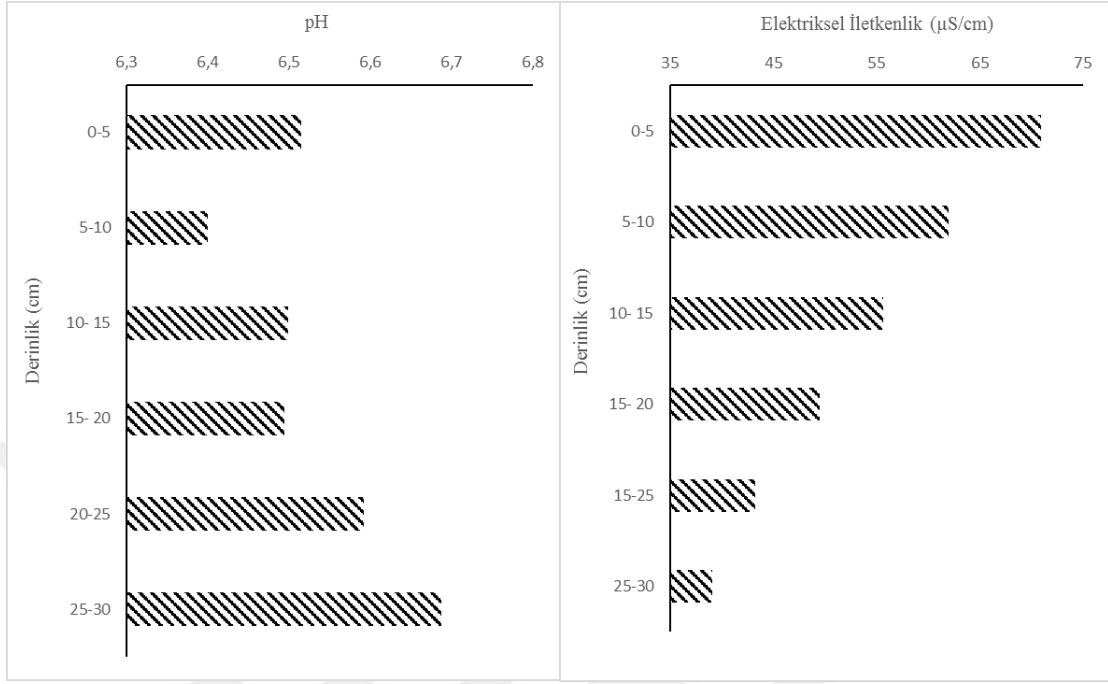
Tablo 6.1’de pH değerlerinin sınıflandırılması, Tablo 6.2’de EC değerlerinin sınıflandırılması yapılmıştır. pH ve elektriksel iletkenlik analizi verilerinin derinliğe (cm) bağlı ortalama değerlerine ait grafikler sırasıyla mera için Şekil 6.6, tarım için Şekil 6.7 ve orman için Şekil 6.8’de verilmiştir.

Muttalip-meranın pH değeri literatürde belirlenen değerle kıyaslandığında mera toprağının kuvvetli alkali sınıfa dahil olduğu görülmüştür (Pansu ve Gautheyrou, 2007). Elektriksel iletkenlik değeri toprak tuzluluğu hakkında bilgi verir. Literatür incelendiğinde Muttalip-meranın tuzluluk sınıfı 0-2 desisiemens/metre (ds/m) arasında olduğundan tuzsuz sınıfına dahildir (Karaoğlu ve Yalçın, 2018).



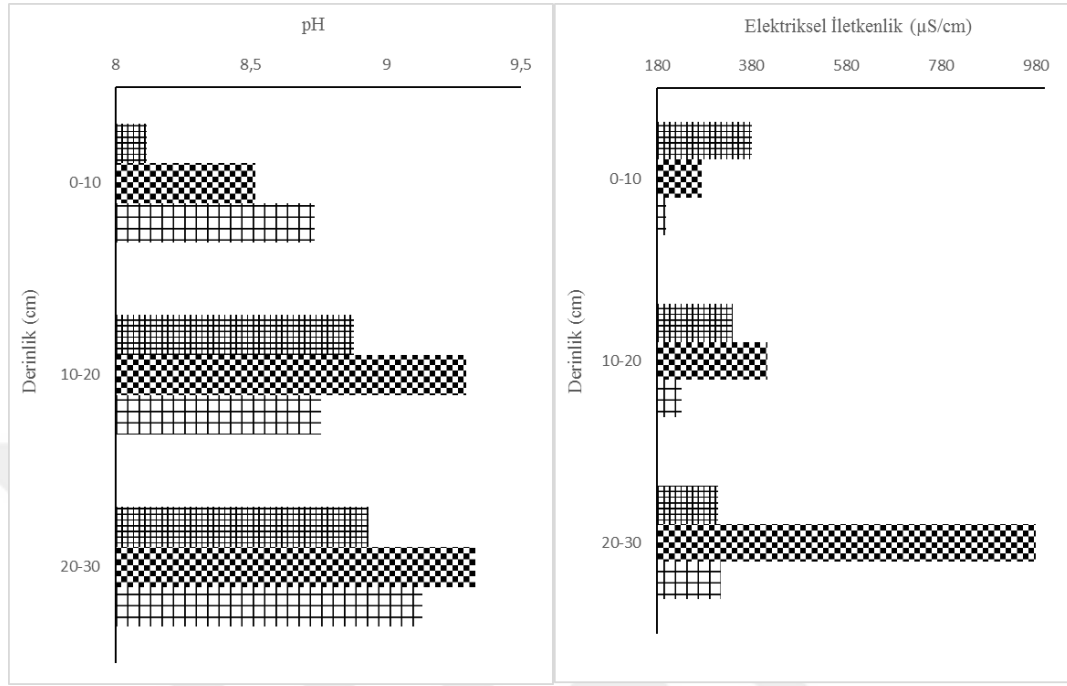
Şekil 6.6. Muttalip Mevki'inde bulunan mera topraklarının pH ve EC değerlerinin derinlik ile değişimi

Yukarıkalabak-mera toprağına ait pH ve elektriksel iletkenlik değerlerini içeren grafik Şekil 6.7'de verilmiştir. 25-30 derinliğine kadar pH sınıfı literatüre göre asidik durumdayken son katmanda (25-30) pH sınıfının nötr durumda olduğu gözlemlenmiştir. Elektriksel iletkenlik değerleri incelendiğinde Muttalip-merada olduğu gibi Yukarıkalabak-mera toprağı da tuzsuz sınıfa dahil olduğu görülmüştür.



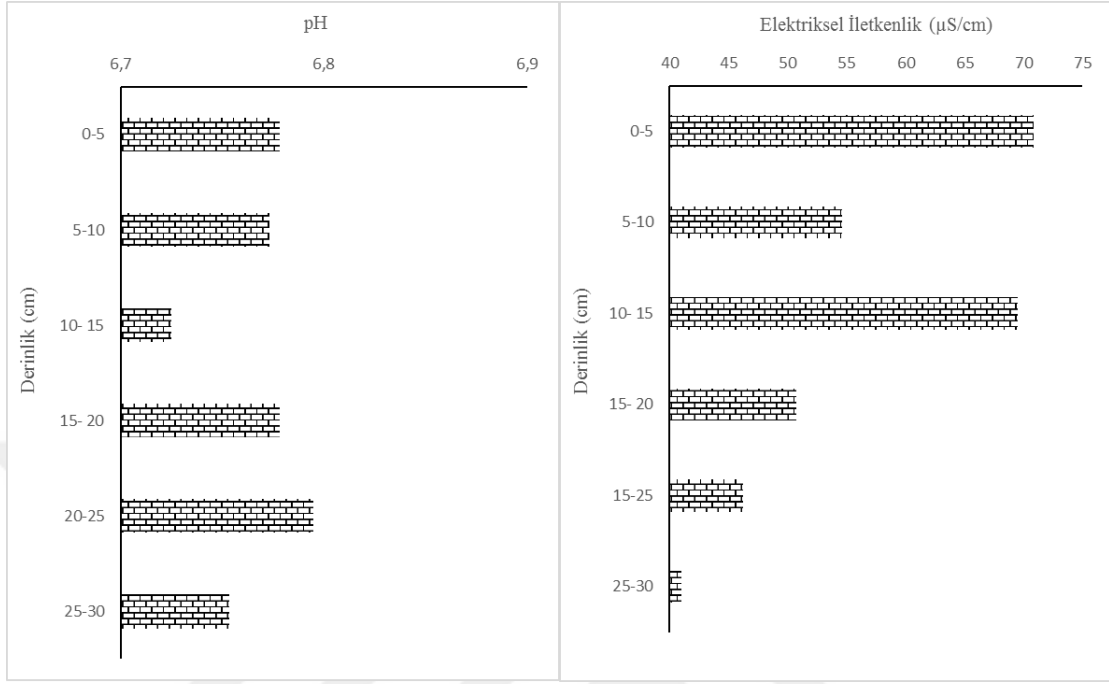
Şekil 6.7. Yukarıkalabak Mevki'inde bulunan mera topraklarının pH ve EC değerlerinin derinlik ile değişimi

Muttalip-tarım alanlarına ait pH ve elektriksel iletkenlik değerlerine ait grafik Şekil 6.8'de verilmiştir. Örnekleme esnasında ekili olan mısır tarlasının pH ve EC değerleri incelendiğinde, pH değerinin derinliğe doğru artmış olduğu görülmüştür. pH sınıfı yüzey toprağında alkali özellik gösterirken son katmana doğru ilerledikçe kuvvetli alkali sınıfa dahil olduğu gözlemlenmiştir. Mısır tarlasının EC değeri incelendiğinde elektriksel iletkenlik değerinin derinliğe doğru azaldığı görülmüş olup mısır tarla toprağı tuzsuz toprak sınıfına dahildir. Buğday tarlasında da mısır tarlasında olduğu gibi derinliğe doğru pH değerinin artmış olduğu görülmektedir. pH sınıfı ilk katmanda alkali olup son katmana doğru kuvvetli alkali özellik göstermektedir. Buğday tarlası elektriksel iletkenlik değerleri incelendiğinde son katmana doğru EC değerinde ciddi bir artış olduğu görülmüştür. Buğday tarlası da tuzsuz toprak sınıfına dahildir. Son olarak, muttalip-fiğ tarlası incelendiğinde pH değerinin tüm katmanlarda 8,7 değerinden yüksek olmasından kaynaklı tüm katmanlarda fiğ toprağı kuvvetli alkali özellik göstermektedir. EC değeri de derinliğe bağlı olarak artmış olup fiğ tarım toprağı tuzsuz toprak sınıfına dahildir.



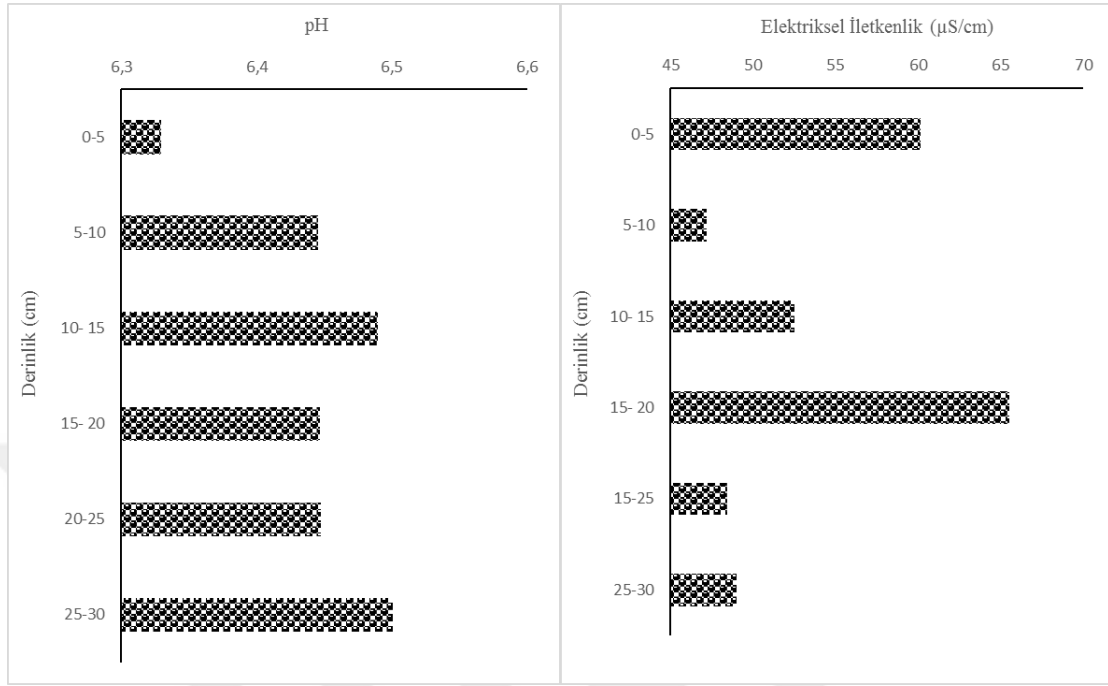
Şekil 6.8. Muttalıp Mevki'inde bulunan tarım topraklarının pH ve EC değerlerinin derinlik ile değişimi

Yukarıkalabak-tarıma ait pH ve elektriksel iletkenlik grafiği Şekil 6.9'da verilmiştir. pH grafiği incelendiğinde tarım toprağının tüm katmanlarında pH sınıfının nötr olduğu görülmüştür. Elektriksel iletkenlik sonuçları incelendiğinde ise Yukarıkalabak tarım toprağı tuzsuz toprak sınıfına dahildir.



Şekil 6.9. Yukarıkalabak Mevki'inde bulunan tarım topraklarının pH ve EC değerlerinin derinlik ile değişimi

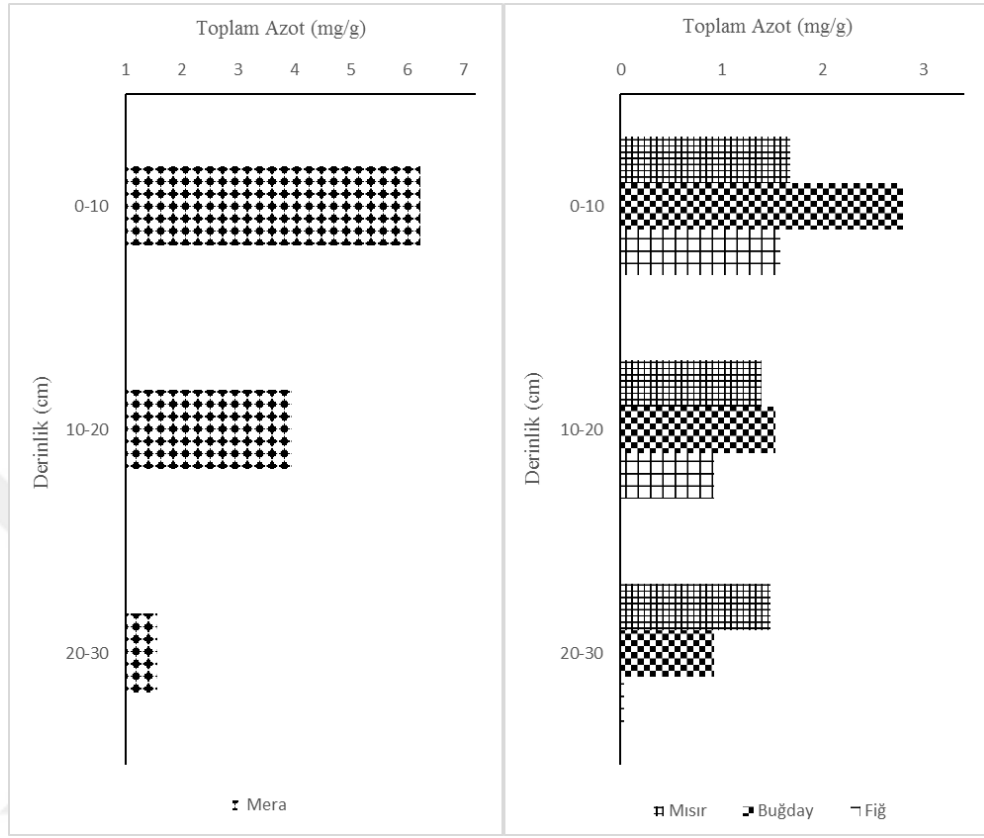
Yukarıkalabak-orman toprağına ait pH ve elektriksel iletkenlik grafikleri Şekil 6.10'da verilmiştir. Orman toprağıının pH verileri incelendiğinde yüzey toprağıından son katmana kadar asidik pH özelliğı gösterirken son katman (25-30) toprak pH sınıfı nötrdür. Elektriksel iletkenlik verilerine göre orman toprağı tuzsuz toprak sınıfına dahildir.



Şekil 6.10. Yukarıkalabak Mevki'inde bulunan orman topraklarının pH ve EC değerlerinin derinlik ile değişimi

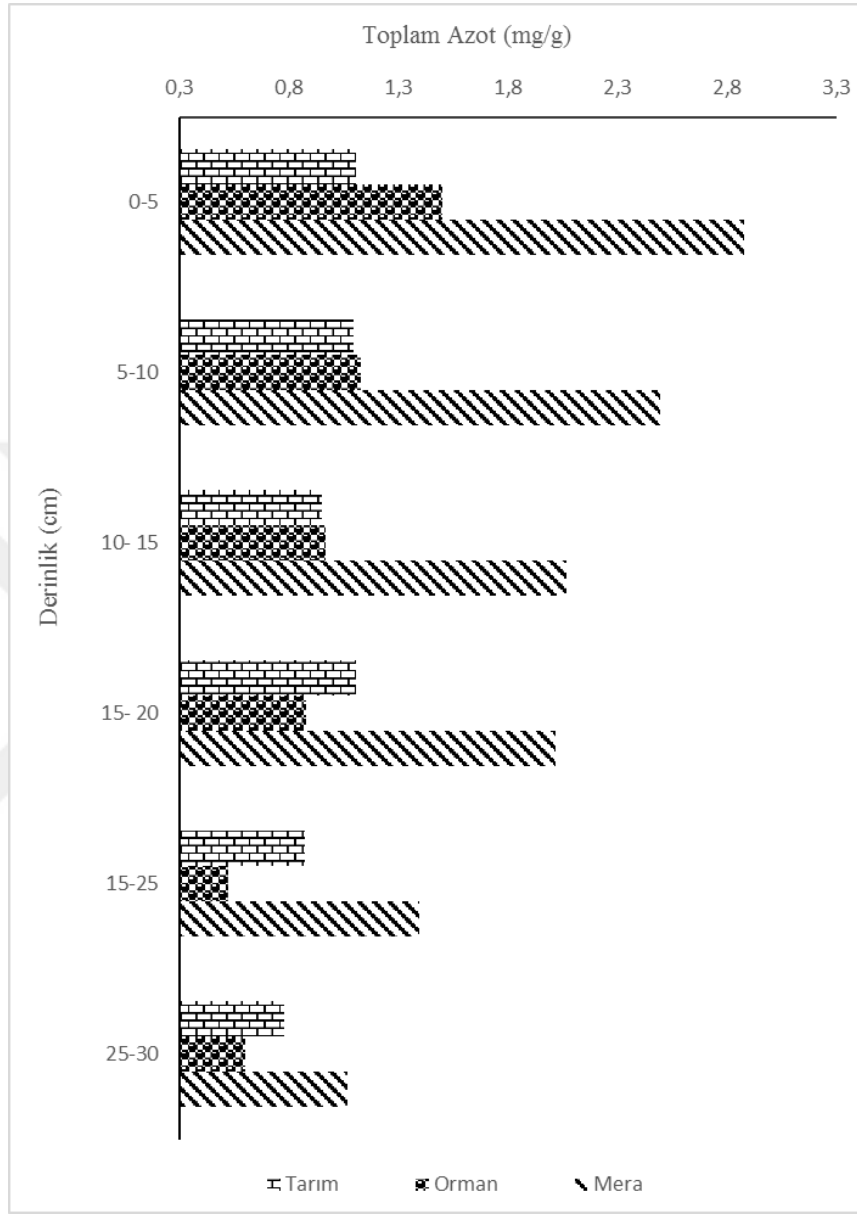
6.2. Farklı Alan Kullanımlarında Azot Formları

Muttalıp alanında bulunan mera, mısır, buğday ve fiğ noktalarına ait toplam azot değerleri Şekil 6.11'de verilmiştir. Mera alanının 0-10 cm'lik kısmında toplam azot değeri en yüksek miktardadır. Bu değer 6,53 mg/g olup derinlikle birlikte toplam azot değerinde azalma görülmüştür. Mısır, buğday ve fiğ alanları incelendiğinde en yüksek toplam azot değeri 2,89 mg/g olup buğday tarlasına aittir. En düşük toplam azot değeri fiğ tarlasında görülürken bu değer 0,14 mg/g'dır.



Şekil 6.11. Muttalıp Mevki 'inde bulunan tarım ve mera alanlarının toplam azot değerlerinin derinliğe bağlı değişimi

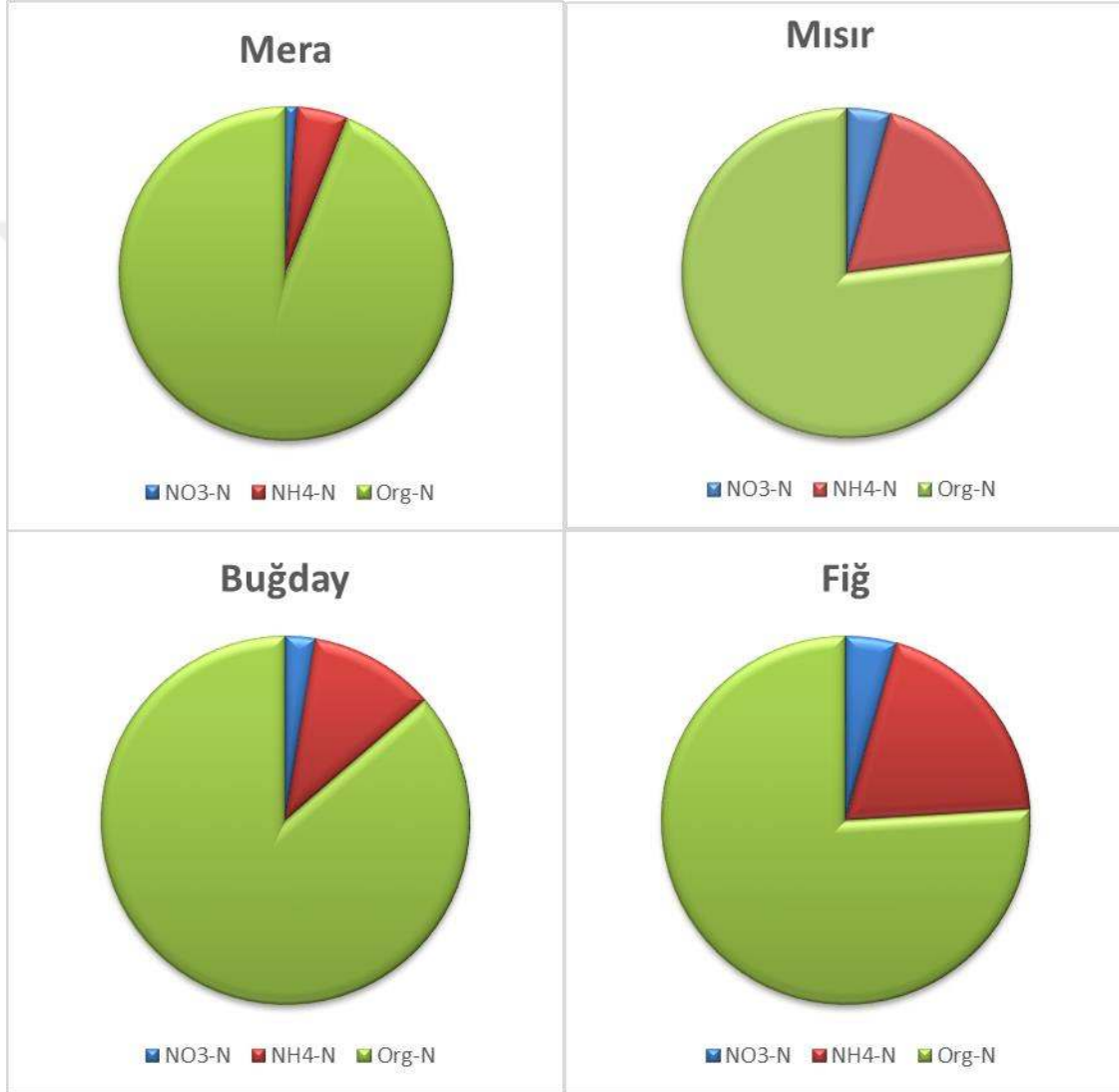
Şekil 6.12'de verilen toplam azot grafiğine göre Yukarıkalabak'da bulunan tarım, orman ve mera alanlarının derinliğe bağlı toplam azot içeriği değerlendirilmiştir. En yüksek azot değeri mera (2,88 mg/g) yüzeyinde bulunmaktadır. En düşük azot değeri (0,52 mg/g), orman alanının 20-25 cm'lik karotundadır. Tüm alanlarda derinliğe bağlı olarak azot miktarında azalma olduğu görülmüştür. Tarım ve orman alanının 5-10 cm ve 10-15 cm noktalarına ait karotlarda yaklaşık aynı miktarda azot varlığı görülmektedir. Bu değerler tarım ve orman için sırasıyla 1,10 mg/g, 1,13 mg/g (5-10 cm) ve 0,95 mg/g, 0,96 mg/g (10-15 cm) şeklindedir.



Şekil 6.12. Yukarıkalabak'da bulunan tarım, orman ve mera alanlarının toplam azot değerlerinin derinliğe bağlı değişimi

Muttalıp'de bulunan mera, mısır, buğday ve fiğ alanlarına ait organik azot ve inorganik azot miktarlarının grafiksel gösterimi Şekil 6.13' de verilmiştir. 0-10 cm derinliğinde tüm noktalarda organik azot miktarı fazla iken en düşük miktar nitrat azotuna aittir. Merada toplam azot 6,53 mg/g iken organik azot 6,14 mg/g miktarındadır. Mısır, buğday ve fiğ alanları için sırasıyla toplam azot değerleri 1,77 mg/g, 2,89 mg/g, 1,68 mg/g iken organik azot değerleri ise sırasıyla 1,37 mg/g, 2,50 mg/g ve 1,28 mg/g'dır. Veriler

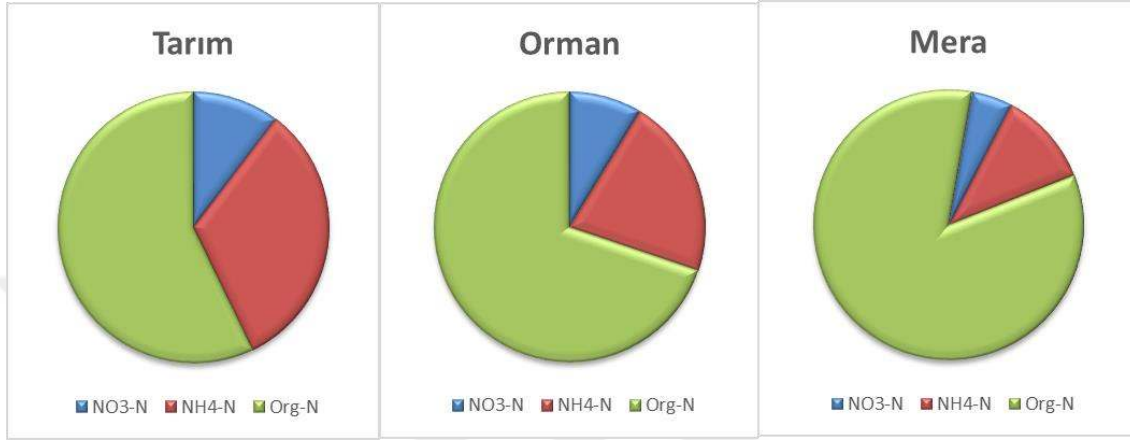
incelendiğinde, toplam azot değerlerinin çok büyük kısmını organik azot formu oluşturmaktadır. Aynı zamanda nitrat azot formu tüm noktalarda yaklaşık olarak aynı miktarda bulunmaktadır. (0,07 mg/g-0,08 mg/g)



Şekil 6.13. Muttalip’de mera ve tarım alanlarında organik ve inorganik azot miktarlarının dağılımları

Yukarıkalabak tarım, orman ve mera alanlarının 0-5 cm aralığında nitrat azotu (NO_3^- -N), amonyum azotu (NH_4^+ -N) ve organik azot değerlerinin şematik gösterimi Şekil 6.14’ de verilmiştir. Organik azot miktarı en fazla mera alanında bulunurken tarım alanında en düşük miktarda bulunmaktadır. Tüm alanlarda amonyum azot miktarı nitrat azot

miktarından daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durumda toprağın nitrifikasyon aşamasında olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.14. Yukarıkalabak'da tarım, orman ve mera alanlarında organik ve inorganik azot miktarlarının dağılımları

6.3. C/N Oranının Toplam Azot Miktarı ile İlişkisi

Topraklardaki organik madde ayrışmasının temel bir göstergesi olan C/N oranı toprak profili, toprakta oluşan mikrobiyal bozunma hakkında bilgi verir. %N oranının artmasıyla C/N oranı daralır ve toprakta bulunan organik materyal hızlı bir şekilde parçalanmaya başlar (Çelik, 2014). C/N oranının düşük olduğu durumda, toprakta bulunan biyokütlenin sentezlenmesi sonucu organik azot türleri inorganik azot türlerine dönüşür. Bu olaya mineralizasyon denir.

- C/N oranı <20 olması durumunda toprakta NO_3^- ve NH_4^+ kazanımı oluşur.
- C/N oranı 20-30 arasında ise toprakta NO_3^- ve NH_4^+ kazanımı veya kaybı oluşmaz.
- C/N oranı >30 ise toprakta NO_3^- ve NH_4^+ kaybı gerçekleşir (Çelik, 2014; Ge ve ark., 2013; Stevenson ve Cole, 1999).

Muttalıp ve Yukarıkalabak alanlarına ait C/N oranı Tablo 6.3 ve Tablo 6.4' verilmiştir. Muttalıp'de bulunan mera, mısır, buğday alanlarında C/N oranı <20 olduğu görülmektedir. Bu alanlarda NO_3^- ve NH_4^+ minerallerinin oluşumu gözlemlenmektedir. Fiğ tarlasında derinliğe bağlı C/N oranında artış olduğu görülmektedir. 20-30 cm aralığında C/N oranının >30 olmasından kaynaklı mineral azot kaybı görülmektedir.

Tablo 6.3. Muttalip örnekleme alanında mera ve tarım alanlarının C/N değerleri

<i>Derinlik (cm)</i>	<i>Mera</i>			<i>Mısır</i>			<i>Buğday</i>			<i>Fiğ</i>		
	<i>%OC</i>	<i>%N</i>	<i>C/N</i>	<i>%OC</i>	<i>%N</i>	<i>C/N</i>	<i>%OC</i>	<i>%N</i>	<i>C/N</i>	<i>%OC</i>	<i>%N</i>	<i>C/N</i>
0-10	5,60	0,65	8,57	1,15	0,18	6,48	0,76	0,29	2,62	0,97	0,17	5,79
10-20	1,89	0,42	4,44	1,13	0,15	7,58	0,68	0,16	4,15	1,19	0,10	11,60
20-30	1,19	0,19	6,40	0,98	0,16	6,15	0,63	0,10	6,11	0,99	0,01	70,51

Yukarıkalabak tarım, orman ve mera alanlarında derinliğe bağlı C/N oranında azalma görülmektedir. C/N oranının <20 olmasından dolayı bu alanlarda mineralizasyon olayı görülmektedir.

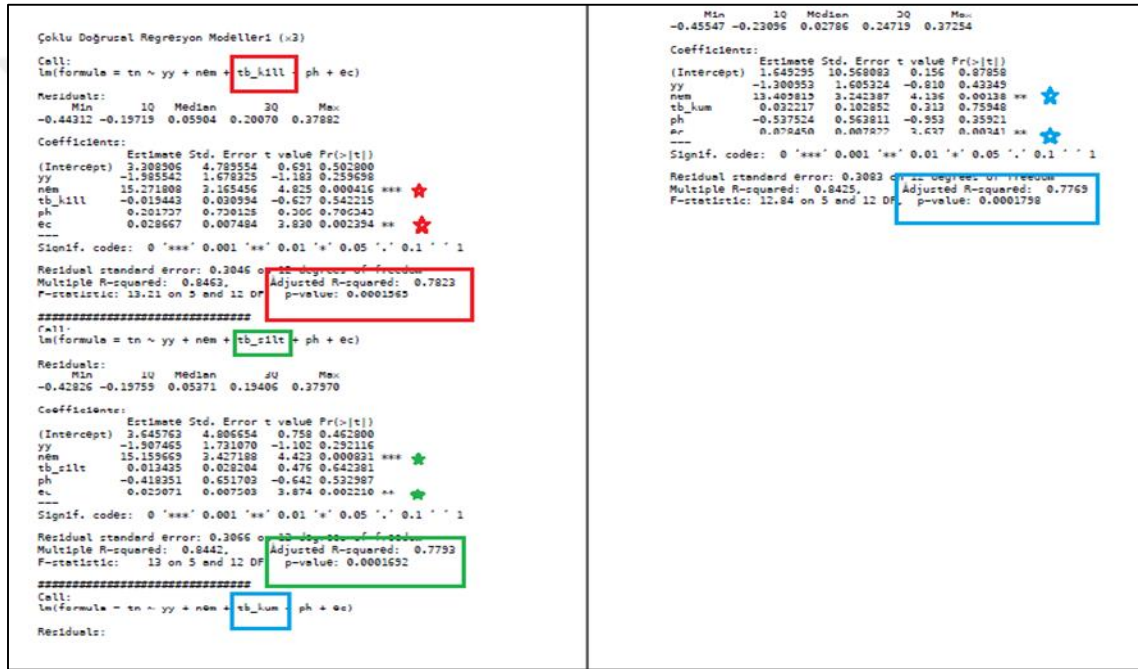
Tablo 6.4. Yukarıkalabak örnekleme alanında mera, tarım orman alanlarının C/N değerleri

<i>Derinlik (cm)</i>	<i>Mera</i>			<i>Tarım</i>			<i>Orman</i>		
	<i>%OC</i>	<i>%N</i>	<i>C/N</i>	<i>%OC</i>	<i>%N</i>	<i>C/N</i>	<i>%OC</i>	<i>%N</i>	<i>C/N</i>
0-5	3,81	0,29	13,25	0,76	0,11	6,85	4,05	0,15	27
5-10	3,01	0,25	12,06	0,72	0,11	6,58	2,18	0,11	19,36
10- 15	2,65	0,21	12,82	0,74	0,09	7,81	1,80	0,10	18,61
15- 20	2,08	0,20	10,32	0,69	0,11	6,28	1,47	0,09	16,72
15-25	1,50	0,14	10,80	0,63	0,09	7,19	1,12	0,05	21,50
25-30	1,18	0,11	11,11	0,56	0,08	7,23	0,91	0,06	15,17

6.4. Verilerin İstatistiki Değerlendirilmesi

Rstudio (Ver: 1.0.153) kullanılarak, toplam azot üzerinde etkili olabilecek potansiyel değişkenler ile çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Bu değişkenler; yığın yoğunluğu, nem içeriği, pH, elektriksel iletkenlik ve toprak tane boyutu olup, bağımsız değişkenler olarak analizlere dahil edilmiştir. Toprak tane boyutu değişkeni üç farklı şekilde elde edildiği için, üç farklı regresyon modeli oluşturulmuştur. Toplam azot miktarı

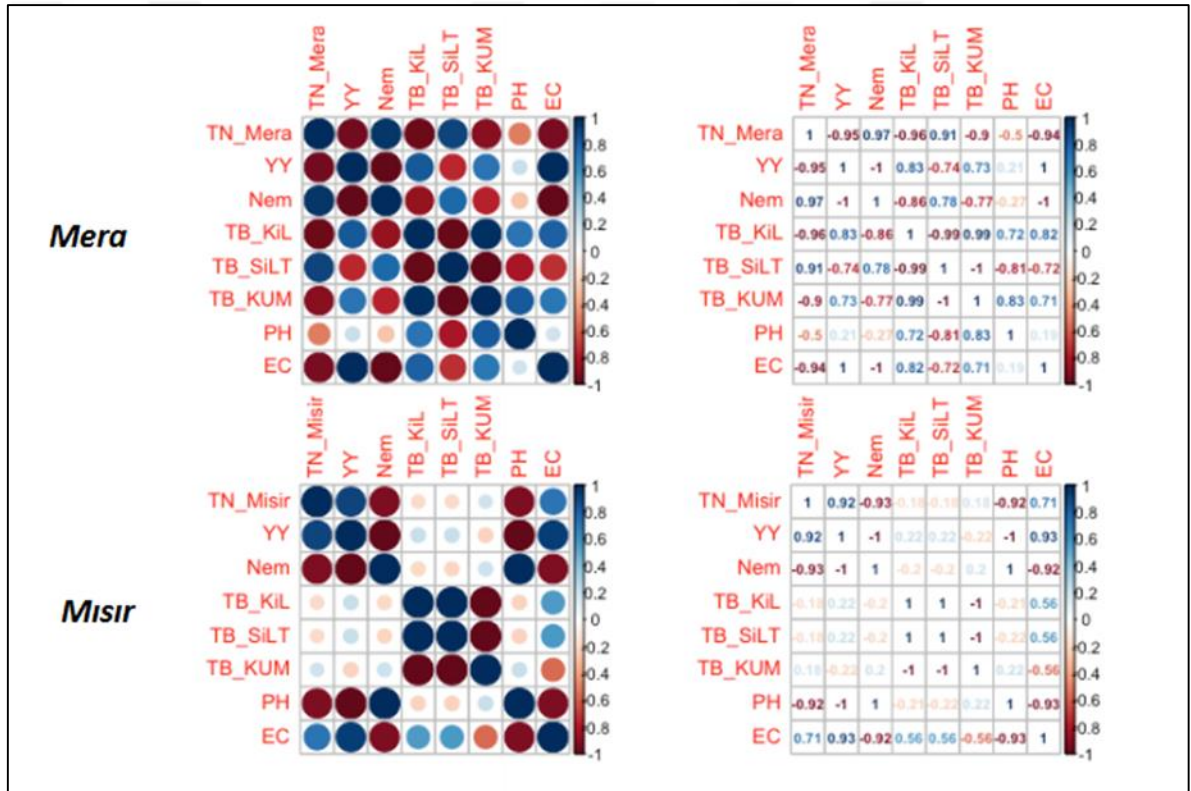
üzerinde etkili olabilecek değişkenlerle oluşturulan regresyon analizi sonuçları Şekil 6.15’ de verilmiştir. Buna göre sonuçlar incelendiğinde, kurulan modeller istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0.00$). Toplam azot üzerinde %5 anlamlı düzeyinde etkili değişkenler her üç modelde nem içeriği ve elektriksel iletkenlik değişkenleridir. Bu değişkenlerin bağımlı değişkendeki değişimi açıklama yüzdeleri (R^2 -adj.) sırasıyla; %78,23, %77,93 ve %77,69’ tür.



Şekil 6.15. Bağımlı değişken olarak toplam azotun yer aldığı çoklu doğrusal regresyon modelleri

Toplam azot; yığın yoğunluğu, nem içeriği, toprak tane boyutu (kil, silt ve kum yüzdeliği), pH ve elektriksel iletkenlik değişkenlerine ilişkin korelasyon (ilişki) matrisleri Rstudio (Ver: 1.0.153) kullanılarak elde edilmiştir (Kan Kılinc, 2018; RStudio Team (2015); Wei ve Simko,2017). Çoklu korelasyon matrislerinde renk üzerinden değişkenler arasındaki ikili ilişkiler gösterilir. Bu matris simetrik bir matristir ve değişkenler arasındaki ikili ilişkilerin yönünü, derecesini ve kuvvetine ilişkin bilgi vermektedir. Buna göre, kırmızı negatif (ters) yönde bir ilişki rengini temsil ederken, mavi ise pozitif (aynı) yönde ilişkiyi göstermektedir. İlişkinin derecesi (-1) ve (+1)’e yakınlığa göre kuvvetli olarak değerlendirilmektedir. Sıfır ise korelasyonun olmadığı anlamına gelmektedir. Muttalip’de bulunan mera ve mısır alanlarına ait korelasyon matrislerine Şekil 6.16’da yer verilmiştir. Mera alanına ait

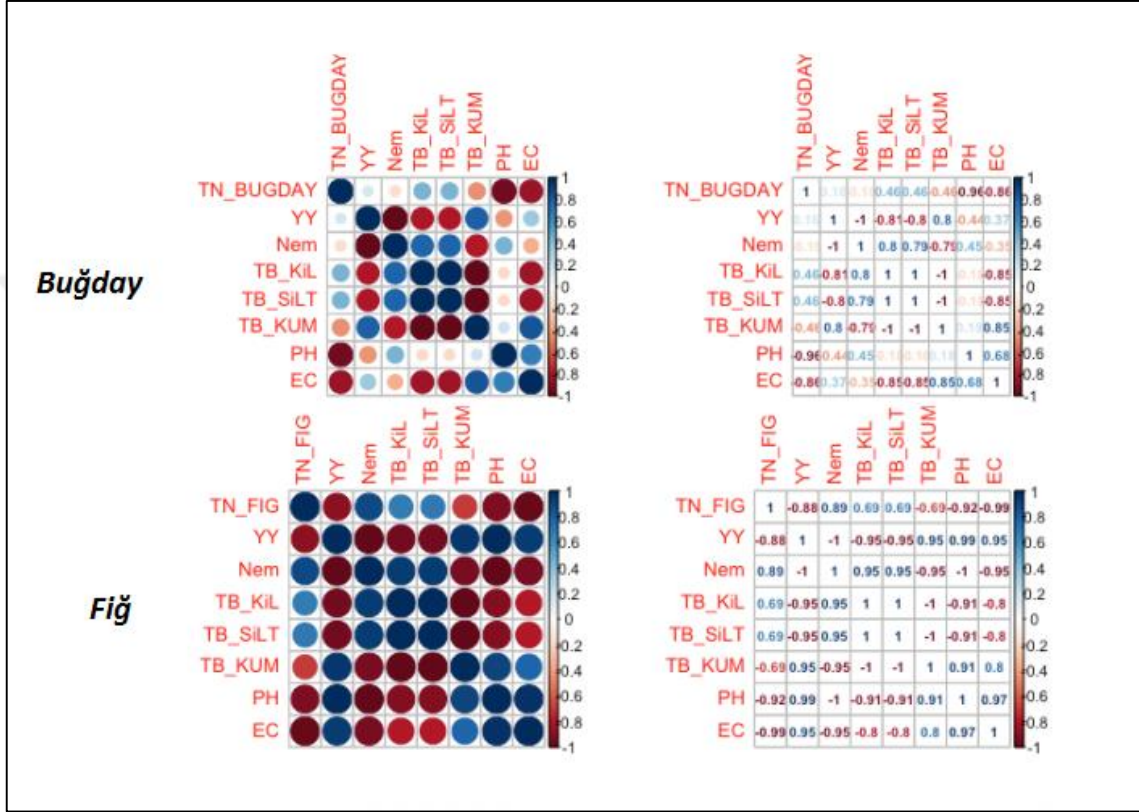
korelasyon matrisi incelendiğinde toplam azot (TN) ile nem içeriği ($R=0,97$) ve toplam azot ile toprak silt içeriği ($R=0,91$) arasında son derece aynı yönde kuvvetli ilişki görülmektedir. Toplam azot ile yığın yoğunluğu ($-0,95$) ve TN ile EC ($-0,94$) arasında oldukça kuvvetli ters ilişki görülmektedir. Mısır alanına ait korelasyon matrisi incelendiğinde ise toplam azot ile yığın yoğunluğu arasında ($0,92$) aynı yönde kuvvetli ilişki görülmektedir. Öte yandan, toplam azot değişkeni ile sırasıyla nem ve pH değişkenleri arasında kuvvetli ters yönde ($-0,93$; $-0,92$) bir ilişki gözlenmektedir.



Şekil 6.16. Bağımlı değişken olarak toplam azotun yer aldığı çoklu korelasyon matrisi

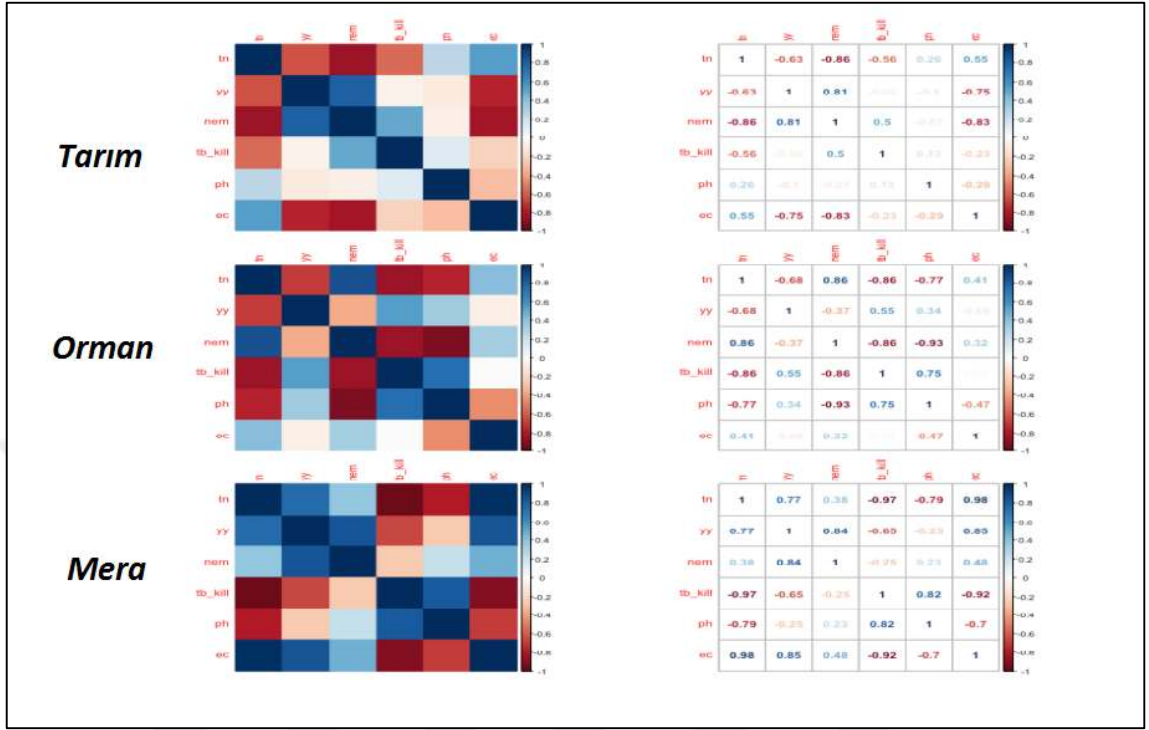
Muttalıp'de bulunan buğday ve fiğ tarlasına ait çoklu korelasyon matrisi Şekil 6.17'de verilmiştir. Buğday tarlasına ait matris incelendiğinde pH ve EC'nin TN üzerinde negatif yönde anlamlı ilişki oluşturduğu görülmektedir. Nem içeriği ve toprak tane boyutu arasındaki ilişkiye bakıldığında ise nem içeriği üzerinde silt ($0,95$) ve kil ($0,95$) içeriği pozitif yönde anlamlı ilişki oluştururken kum ($-0,95$) içeriği negatif yönde anlamlı ilişki oluşturmaktadır. Fiğ tarlasında ise yığın yoğunluğu, pH ve EC toplam azot üzerinde

negatif yönde anlamlı ilişki gösterirken nem içeriği pozitif yönde anlamlı ilişki göstermektedir.



Şekil 6.17. Bağımlı değişken olarak toplam azotun yer aldığı çoklu korelasyon matrisi

Yukarıkalabak'da tarım, orman ve mera alanlarına ait çoklu korelasyon matrisleri Şekil 6.18'de verilmiştir. Tarım alanında toplam azot ile nem içeriği arasında kuvvetli ters ilişki görülmüştür. Orman alanında ise nem ile TN arasında pozitif yönde ilişki vardır. Kil içeriği ve pH değişkenleri ile TN arasında negatif yönde kuvvetli ilişki görülmektedir. Mera alanında ise yığın yoğunluğu ve elektriksel iletkenlik toplam azot üzerinde aynı yönde, nispeten kuvvetli ilişki gösterirken kil içeriği ve pH toplam azot ile sırasıyla oldukça kuvvetli (-0,97) ve nispeten kuvvetli (-0,79) ilişki gösterir.



Şekil 6.18. Bağımlı değişken olarak toplam azotun yer aldığı çoklu korelasyon matrisi

6.5. N₂O (Diazot Oksit) Emisyonlarının Belirlenmesi

Muttalıp ve Yukarıkalabak’da bulunan tarım alanlarından kaynaklı N₂O emisyonu matematiksel denklem ile hesaplanırken mera, nadasa bırakılmış tarla ve ekili buğday tarlasından kaynaklı N₂O emisyonu DNDC modeli ile hesaplanmıştır.

6.5.1. Matematiksel denklem ile N₂O (diazot oksit) emisyonlarının belirlenmesi

Denklemlerde yer alan parametreler mahsulün büyüme evresinde alana düşen yağış miktarı, toprağa uygulanan sentetik azot miktarı, toprak pH’ı, toprak organik karbon içeriği, mahsul türü, toprak tanecik boyutu ve yıllık ortalama hava sıcaklığıdır. Bu faktörler N₂O emisyonunun oluşumunda etkili olmaktadır. Toprağa düşen yağış miktarı; toprağın nem içeriğini ve maksimal su tutma kapasitesini etkiler. Aynı zamanda mikrobiyal aktiviteyi de etkiler. Toprak pH ve sıcaklığı toprakta bulunan mikroorganizmaların yaşamsal faaliyetlerini etkiler. Son olarak, toprağa uygulanan sentetik azot miktarı mikroorganizmalar için ekstra besin miktarı oluşturmaktadır. Tüm bu faktörler mikrobiyal faaliyeti hızlandırarak denitrifikasyon hızının artmasına sebep olur. Tablo 6.5’de Muttalıp’de bulunan mısır, buğday ve fiğ tarlasına ait N₂O emisyon miktarları verilirken

Tablo 6.6’da Yukarıkalabak’da bulunan tarım alanının 6 farklı noktasından hektar başına salınan kg N₂O emisyon miktarı verilmiştir. Tablo 6.5’de kumulatif azot değerleri incelendiğinde pH değerinin artmasına bağlı olarak N₂O emisyon hızı azalmıştır. Alanların toprak kum içeriği değerlerinin yakın olması ve mahsul türünün tek yıllık olmasından kaynaklı kumulatif karbon değerleri birbirlerine eşit olmuştur. Organik karbon içeriğinin artmasıyla N₂O emisyon faktörü de artış göstermiştir.

Tablo 6.5. Muttalip’te bulunan tarım alanlarının 0-10 cm derinliğinden kaynaklı N₂O emisyon miktarları (kg N₂O/ha)

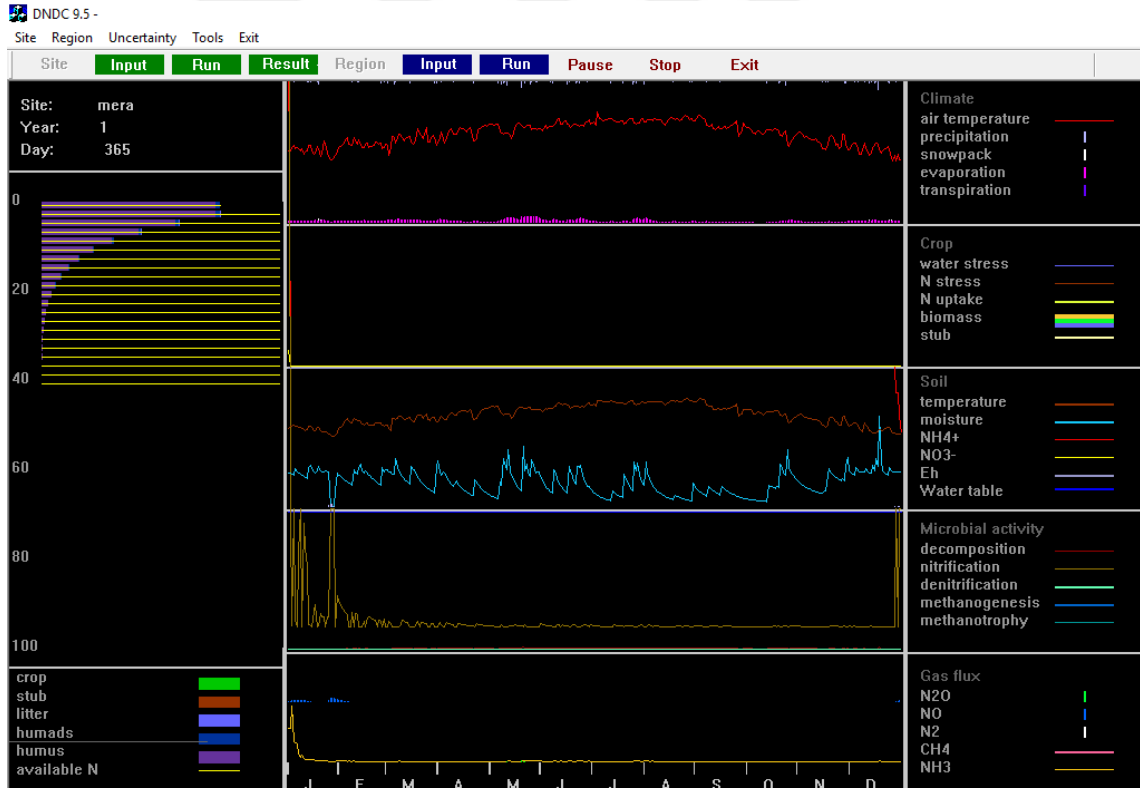
<i>kg N₂O/ha (0-10 cm)</i>				
	<i>N₂O</i> <i>(Kumulatif)Azot</i>	<i>N₂O</i> <i>(Kumulatif) Karbon</i>	<i>Azot+karbon</i>	<i>N₂O (EF)_{min}</i>
<i>Mısır</i>	0,26	1,50	1,76	1,77
<i>Buğday</i>	0,11	1,50	1,61	1,73
<i>Fiğ</i>	0,07	1,50	1,57	1,56

Tablo 6.6. Yukarıkalabak'ta bulunan tarım alanlarının 0-5 cm derinliğinden kaynaklı N₂O emisyon miktarları (kg N₂O/ha)

kg N ₂ O/ha					
	Derinlik (cm)	N ₂ O (Kumulatif)Azot	N ₂ O (Kumulatif) Karbon	Azot + Karbon	N ₂ O (EF) _{min}
Tarım 1	0-5	0,27	1,17	1,45	1,16
Tarım 1	5-10	0,29	1,17	1,46	1,09
Tarım 2	0-5	0,28	1,17	1,45	0,96
Tarım 2	5-10	0,27	1,17	1,44	0,92
Tarım 3	0-5	0,26	1,17	1,44	0,97
Tarım 3	5-10	0,27	1,17	1,43	1,02
Tarım 4	0-5	0,23	1,17	1,41	0,95
Tarım 4	5-10	0,24	1,17	1,40	1,04
Tarım 5	0-5	0,24	1,17	1,42	0,98
Tarım 5	5-10	0,23	1,17	1,40	0,91
Tarım 6	0-5	0,23	1,17	1,41	1,08
Tarım 6	5-10	0,22	1,17	1,39	1,03

6.5.2. DNDC ile N₂O (diazot oksit) emisyonlarının belirlenmesi

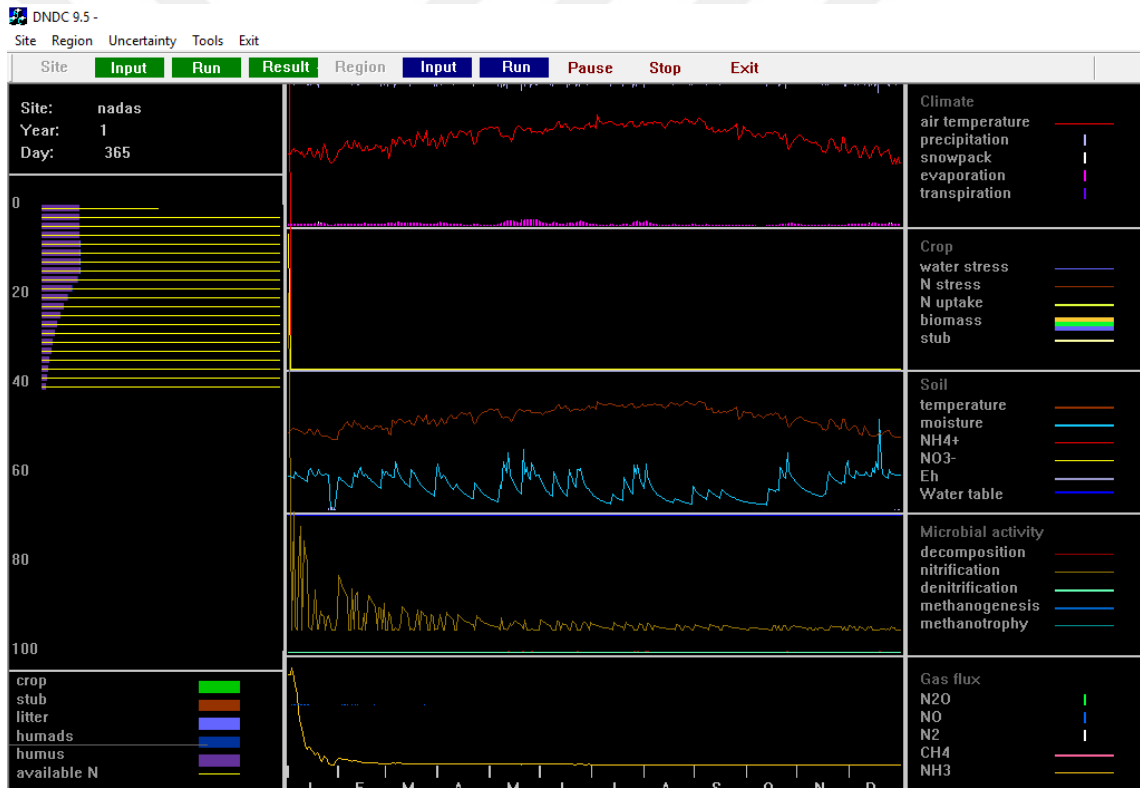
Şekil 6.19’da verilen mera alanına ait DNDC görüntüsünde mera-iklim (climate) alanı incelendiğinde hava sıcaklığı ve evaporasyon süreci görüntülenmektedir. Hava sıcaklığı haziran ayında en yüksek değerine ulaşmıştır. Mera-mahsul (crop) alanında ise ekim olmamasından kaynaklı herhangi bir oluşum görülmemiştir. Mera-toprak (soil) alanında toprak sıcaklığı ve toprak nemine ait oluşumlar görülmektedir. Aralık ayında toprak nemi en yüksek değere ulaşmıştır. Mera-mikrobiyal aktivite (microbial activity) sütunu incelendiğinde sadece nitrifikasyon oluşumu görülmektedir. Mera-gaz akışı (gas flux) incelendiğinde ise nitrifikasyon aşamasının en yoğun olduğu ocak ayında NH₃ akışının en yüksek değere ulaştığı görülmüştür. Ayrıca bu dönemde NO gaz akışı görülmektedir.



Şekil 6.19. Mera alanında DNDC uygulaması

Şekil 6.20’de verilen nadas alanına ait DNDC görüntüsünde nadas-iklim (climate) alanı incelendiğinde hava sıcaklığı ve evaporasyon süreci görüntülenmektedir. Hava sıcaklığı haziran-temmuz döneminde en yüksek değerine ulaşmıştır. Nadas-mahsul (crop)

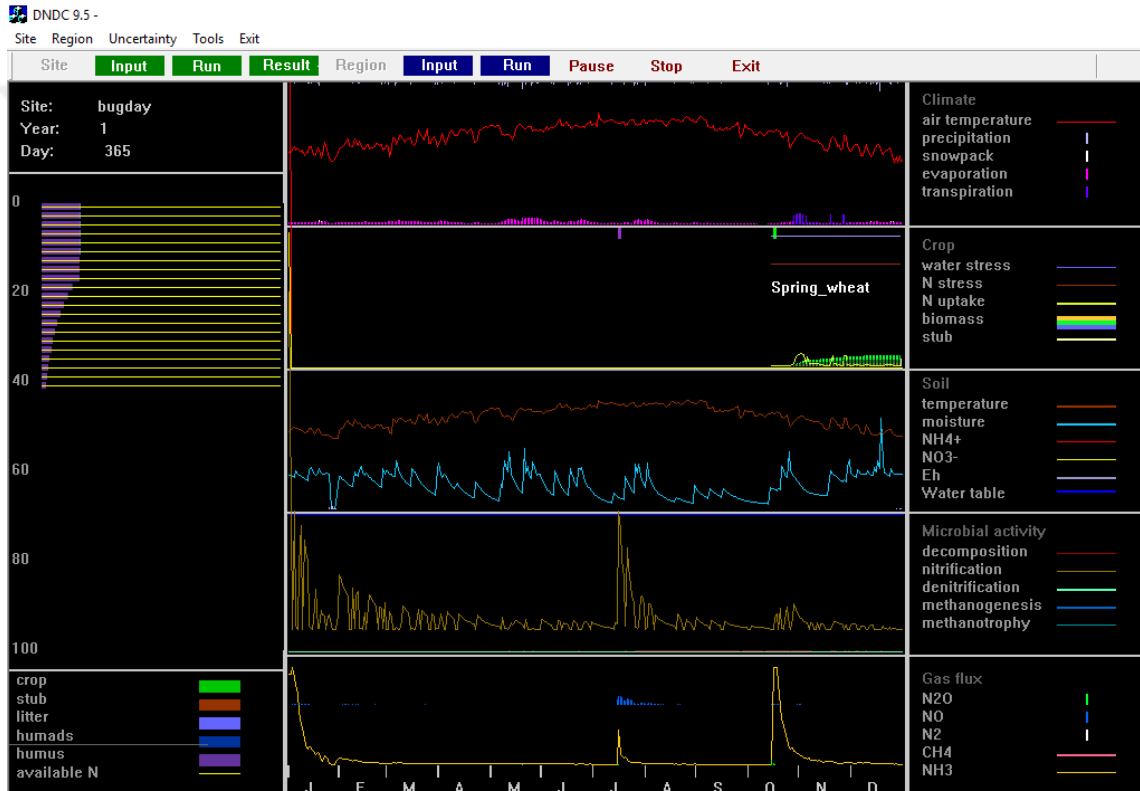
alanında ise ekim olmamasından kaynaklı herhangi bir oluşum görülmemiştir. Nadas-toprak (soil) alanında toprak sıcaklığı ve toprak nemine ait oluşumlar görülmektedir. Aralık ayında toprak nemi en yüksek değere ulaşmıştır. Nadas-mikrobiyal aktivite (microbial activity) sütunu incelendiğinde sadece nitrifikasyon oluşumu görülmekte olup ocak-şubat döneminde nitrifikasyon oluşumu sıklık göstermektedir. Nadas-gaz akışı (gas flux) incelendiğinde ise nitrifikasyon aşamasının en yoğun olduğu ocak ayında NH_3 akışının en yüksek değere ulaştığı görülmüştür. NO gaz akışı ocak ayından mart ayının sonuna kadar görülmektedir.



Şekil 6.20. Nadas alanında DNDC uygulaması

Şekil 6.21’de verilen buğday tarım alanına ait DNDC görüntüsünde buğday-iklim (climate) alanı incelendiğinde hava sıcaklığı, evaporasyon ve transpirasyon süreci görüntülenmektedir. Hava sıcaklığı haziran-temmuz döneminde en yüksek değerine ulaşmıştır. Buğday-mahsul (crop) alanında ise ekim ayında toprakta azot ihtiyacı görülmekte olup azot alımı gerçekleşmiştir. Buğday-toprak (soil) alanında toprak sıcaklığı ve toprak nemine ait oluşumlar görülmektedir. Aralık ayında toprak nemi en yüksek değere

ulaşmıştır. Buğday-mikrobiyal aktivite (microbial activity) sütunu incelendiğinde sadece nitrifikasyon oluşumu görülmekte olup ocak ayında, temmuz ayında ve ekim ayında nitrifikasyon oluşumu sıklık göstermektedir. Buğday-gaz akışı (gas flux) incelendiğinde ise nitrifikasyon aşamasının en yoğun olduğu aylarda NH_3 gaz akışının en yüksek değere ulaştığı görülmektedir. NO gaz akışı nitrifikasyon aşamasının en yoğun olduğu aylarda görülmektedir.



Şekil 6.21. Buğday tarım alanında DNDC u ygulaması

DNDC programında hesaplanan küresel ısınma potansiyeli (GWP) değerleri Şekil 6.22’de verilmiştir. GWP değerleri CO_2 eşdeğerliğindedir. Mera, nadas ve buğday alanına ait bu değerler 15 kg CO_2 -eşd/ha, 5 kg CO_2 -eşd/ha ve 34 kg CO_2 -eşd/ha’dır.



Şekil 6.22. Mera, nadas ve buğday alanının küresel ısınma potansiyeli (GWP)

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında farklı alanlardan (tarım, orman ve mera) ve farklı derinliklerden ızgara örnekleme yöntemi ve rastgele örnekleme yöntemi kullanılarak toplam 22 kor numunesi alınmıştır. Yığın yoğunluğu, nem içeriği, partikül boyut analizi, pH ve elektriksel iletkenlik analizleri ile toprağın fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Modifiye Kjeldahl analizi ile toplam azot miktarı belirlenerek ve C/N kullanılarak azotun derinliğe bağlı karakterizasyonu yapılmıştır. Buna bağlı olarak farklı alanlarda derinlikle birlikte azot birikim hızları belirlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- ✓ Muttalip örnekleme alanında mera toprağı kuvvetli alkali özellik gösterirken tarım toprağı ise alkali özellik göstermektedir. Yukarıkalabak örnekleme alanında ise mera asidik, tarım nötr ve orman asidik pH sınıfına dahil olmaktadır. Tüm örnekleme alanlarında tuzluluk sınıfı 0-2 ds/m arasında olduğundan tuzsuz sınıfa dahil olduğu görülmektedir.
- ✓ Alanlarda yığın yoğunluğu ve nem içeriği değerleri arasında ters ilişki vardır. Toprakta nem içeriğinin artmasıyla mikrobiyal faaliyet hızlanır. Bu durum çevresel anlamda olumsuz sonuçlara neden olmaktadır.
- ✓ Toprakların organik madde içeriğinin tekstür özelliklerine bağlı olduğu bilinmektedir. Tekstür özelliklerine bağlı olarak toprakta azot birikim oranı değişmektedir. Kil içeriği fazla olan topraklar tınlı topraklara, tınlı topraklar da kumlu topraklara göre daha fazla organik madde içermektedir. Farklı alan kullanım özelliklerine göre, birim alanda ve derinliğe bağlı olarak toprakta depolanan toplam azot miktarı değişim göstermektedir. Tüm alanlarda derinliğe bağlı olarak azot miktarında azalma olduğu görülmüştür. Veriler incelendiğinde, toplam azot değerlerinin çok büyük kısmını organik azot formu oluşturmaktadır.
- ✓ C/N oranının düşük olduğu durumda, toprakta bulunan biyokütlenin sentezlenmesi sonucu organik azot türleri inorganik azot türlerine dönüşmektedir.
- ✓ Toprak fiziksel özelliklerinden nem içeriği ve silt içeriği toplam azot (TN) ile son derece aynı yönde kuvvetli ilişki göstermektedir. Toplam azot ile yığın yoğunluğu ve TN ile EC arasında oldukça kuvvetli ters ilişki görülmektedir. Toplam azot

değişkeni ile sırasıyla nem ve pH değişkenleri arasında kuvvetli ters yönde bir ilişki gözlenmektedir.

- ✓ Matematiksel model ile tarım alanlarından kaynaklı diazot oksit (N_2O) emisyonu belirlenirken DNDC modeli ile tarım ve mera alanından kaynaklı diazot oksit (N_2O) emisyonu belirlenmiştir. Alana düşen yağış miktarı, toprak pH'ı, toprak organik karbon içeriği, toprak tanecik boyutu, yıllık ortalama hava sıcaklığı, toprağa uygulanan sentetik azot miktarı, mahsul türü ve toprağa uygulanan mekanik işlemler topraktan atmosfere salınan N_2O emisyon miktarını etkilemektedir. Toprak mikroorganizmaları tarafından üretilen küresel gazlar üzerine yapılan çalışmalar N_2O ve NO gazlarının mikroorganizmalar tarafından üretilen iki önemli azot gazı olduğunu nitrifikasyon ve denitrifikasyon olayları ile ortaya çıktıklarını belirtmektedir. Topraklarda su oranının fazla olması durumunda, azot miktarı bitinceye kadar denitrifikasyon hızlı bir şekilde ilerlemektedir.
- ✓ Şehrin toplam alanının %23,80'lik kısmını mera alanları oluştururken 25473,82 ton/ha'lık azot tutmaktadır. %29,45'lik kısmını orman arazisi oluşturmakta ve 15234,06 ton/ha'lık azot tutmaktadır. Son olarak, %42'lik kısmı tarım arazisi oluşturmakta ve bünyesinde 23556,47 ton/ha'lık azot bulundurmaktadır. Alan kullanım özelliklerine göre toprakta toplam azot miktarını en fazla depolama kapasitesine sahip olan mera alanlarıdır.

KAYNAKÇA

- Al-Kaisi, M. M., Yin, X., & Licht, M. A. (2005). Soil carbon and nitrogen changes as influenced by tillage and cropping systems in some Iowa soils. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 105(4), 635-647.
- Altıntaş, Ü., et al., Toprak Bilimi. 2004, İzmir: Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Arslan, H., & Güteryüz, G. (2002). Yüksek Bitkilerde Azotun Asimilasyonu.
- Avramidis, P., Iliopoulos, G., Panagiotaras, D., Papoulis, D., Lambropoulou, P., Kontopoulos, N., & Christanis, K. (2014). Tracking Mid-to Late Holocene depositional environments by applying sedimentological, palaeontological and geochemical proxies, Amvrakikos coastal lagoon sediments, Western Greece, Mediterranean Sea. *Quaternary International*, 332, 19-36.
- Bellitürk, K. (2011). Edirne ili Uzunköprü ilçesi tarım topraklarının beslenme durumlarının belirlenmesi. *JOTAF/Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8(3), 8-15.
- Bronk, D. A., Lomas, M. W., Glibert, P. M., Schukert, K. J., & Sanderson, M. P. (2000). Total dissolved nitrogen analysis: comparisons between the persulfate, UV and high temperature oxidation methods. *Marine Chemistry*, 69(1-2), 163-178.
- Collos, Y., & Mornet, F. (1993). Automated procedure for determination of dissolved organic nitrogen and phosphorus in aquatic environments. *Marine Biology*, 116(4), 685-688.
- Çelik, N. (2014). *Orman Toprak El Kitabı*.
- Çimrin, K. M., & Boysan, S. (2006). Van yöresi tarım topraklarının besin elementi durumları ve bunların bazı toprak özellikleri ile ilişkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 16(2), 105-111.
- Dafner, E. V. (2016). An assessment of analytical performance of dissolved organic nitrogen and dissolved organic phosphorus analyses in marine environments: a review. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 96(12), 1188-1212.

- Dafner, E. V., & Szmant, A. M. (2014). A modified segmented continuous flow analysis method for simultaneous determination of total dissolved nitrogen and phosphorus in marine environments. *Limnology and Oceanography: Methods*, 12(8), 577-591.
- De Neve, S., & Hofman, G. (1998). N mineralization and nitrate leaching from vegetable crop residues under field conditions: a model evaluation. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(14), 2067-2075.
- Ergene, A. (1997). *Toprak biliminin esasları*.
- Estefan, G., Sommer, R., & Ryan, J. (2013). Methods of soil, plant, and water analysis. *A manual for the West Asia and North Africa region*, 170-176.
- Faithfull, N. T. (2002). *Methods in agricultural chemical analysis: a practical handbook*.
- Ferree, M. A., & Shannon, R. D. (2001). Evaluation of a second derivative UV/visible spectroscopy technique for nitrate and total nitrogen analysis of wastewater samples. *Water Research*, 35(1), 327-332.
- Ge, S., Xu, H., Ji, M., & Jiang, Y. (2013). Characteristics of soil organic carbon, total nitrogen, and C/N ratio in Chinese apple orchards. *Open Journal of Soil Science*, 3(05), 213.
- Giltrap, D. L., Li, C., & Saggar, S. (2010). DNDC: A process-based model of greenhouse gas fluxes from agricultural soils. *Agriculture, ecosystems & environment*, 136(3-4), 292-300.
- Gregorich, E. G., & Carter, M. R. (2007). *Soil sampling and methods of analysis*. CRC press.
- Gülçur, F. (1974). Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Analiz Yöntemleri. *İÜ Orman Fakültesi Yayınları, OF Yayın*, (201), 225.
- Harrell, J. B. (2014). *An evaluation of soil sampling methods in support of precision agriculture in northeastern North Carolina*. University of Southern California.
- Hofstra, N. ve Bouwman, A.F. (2005). Denitrification in agricultural soils: summarizing published data and estimating global annual rates

- Hu, P., Liu, S., Ye, Y., Zhang, W., He, X., Su, Y., & Wang, K. (2018). Soil carbon and nitrogen accumulation following agricultural abandonment in a subtropical karst region. *Applied soil ecology*, 132, 169-178.
- Jaber, A. M. Y., Mehanna, N. A., & Sultan, S. M. (2009). Determination of ammonium and organic bound nitrogen by inductively coupled plasma emission spectroscopy. *Talanta*, 78(4-5), 1298-1302.
- Jones, A. R., Orton, T. G., & Dalal, R. C. (2016). The legacy of cropping history reduces the recovery of soil carbon and nitrogen after conversion from continuous cropping to permanent pasture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 216, 166-176.
- Kan Kılınc, B.(2018). "Displaying and Graphing Data", Eds. F.Er ve H.Sonmez, Chapter 3, Anadolu University Press, Eskisehir.
- Kamizake, N. K., & Gonçalves, M. M., Zaia, C. T., & Zaia, D. A. (2003). Determination of total proteins in cow milk powder samples: a comparative study between the Kjeldahl method and spectrophotometric methods. *Journal of Food composition and analysis*, 16(4), 507-516.
- Karaoğlu, M., & Yalçın A. M., (2018). Toprak Tuzluluğu ve Iğdır Ovası Örneği. *Journal of Agriculture*, 1(1), 27-41.
- Keeney, D., *The nitrogen cycle in sediment-water systems*. Journal of Environmental Quality. 2(1): 15-29, 1973.
- Kpombrekou-A, K. (2006). Relative proportion of inorganic and total nitrogen in broiler litter as determined by various methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(14), 2354-2362.
- Li, C., Aber, J., Stange, F., Butterbach-Bahl, K., & Papen, H. (2000). A process-oriented model of N₂O and NO emissions from forest soils: 1. Model & development. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 105(D4), 4369-4384.
- Li, C., Frolking, S., & Frolking, T. A. (1992). A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 1. Model structure and sensitivity. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 97(D9), 9759-9776.

- Liu, W. J., Zeng, F. X., & Jiang, H. (2013). Determination of Total Nitrogen in Solid Samples by Two-Step Digestion–Ultraviolet Spectrophotometry Method. *Communications in soil science and plant analysis*, 44(6), 1080-1091.
- Li, X., McCarty, G. W., Lang, M., Ducey, T., Hunt, P., & Miller, J. (2018). Topographic and physicochemical controls on soil denitrification in prior converted croplands located on the Delmarva Peninsula, USA. *Geoderma*, 309, 41-49.
- Mallarino, A. P., & Wittry, D. J. (2004). Efficacy of grid and zone soil sampling approaches for site-specific assessment of phosphorus, potassium, pH, and organic matter. *Precision Agriculture*, 5(2), 131-144.
- Marcó, A., Rubio, R., Compañó, R., & Casals, I. (2002). Comparison of the Kjeldahl method and a combustion method for total nitrogen determination in animal feed. *Talanta*, 57(5), 1019-1026.
- Min, H., Hwang, W., Kim, M. S., & Kim, J. G. (2017). Denitrification-DeComposition (DNDC) improvement through model coupling and sub-model development considering agricultural land use and future climate change, 35(1), 37-46.
- Morales-Romero, D., Campo, J., Godinez-Alvarez, H., & Molina-Freaner, F. (2015). Soil carbon, nitrogen and phosphorus changes from conversion of thornscrub to buffelgrass pasture in northwestern Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 199, 231-237.
- Pansu, M., & Gautheyrou, J. (2007). *Handbook of soil analysis: mineralogical, organic and inorganic methods*. Springer Science & Business Media.
- Pavlova, A. I., Dobrev, D. S., & Ivanova, P. G. (2009). Determination of total nitrogen content by different approaches in petroleum matrices. *Fuel*, 88(1), 27-30.
- Powlson, D. S. (1993). Understanding the soil nitrogen cycle. *Soil use and management*, 9(3), 86-93.
- Qadir, M., Noble, A. D., Schubert, S., Thomas, R. J., & Arslan, A. (2006). Sodicty-induced land degradation and its sustainable management: Problems and prospects. *Land Degradation & Development*, 17(6), 661-676.

- Reddy, K. ve D. Graetz, *Carbon and nitrogen dynamics in wetland soils*, in *The ecology and management of wetlands*. 1987, Springer. p. 307-318.
- Reetz, H. (2001). Efficient fertilizer use soil sampling for high yield agriculture.
- Rochette, P., Liang, C., Pelster, D., Bergeron, O., Lemke, R., Kroebel, R., ... & Flemming, C. (2018). Soil nitrous oxide emissions from agricultural soils in Canada: Exploring relationships with soil, crop and climatic variables. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 254, 69-81.
- RStudio Team (2015). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- Sağlam, M. T. ve Bellitürk, K. (2005). Tekirdağ ili topraklarının mineralize olan azot miktarları ile mineralizasyon kapasiteleri üzerinde bir araştırma. *JOTAF/Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2(1), 89-101.
- Santos, E. O. D. J., Gontijo, I., Silva, M. B. D., & Partelli, F. L. (2017). Sampling design of soil physical properties in a conilon coffee field. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 41.
- Schoeneberger, P. J., Wysocki, D. A., & Benham, E. C. (Eds.). (2012). *Field book for describing and sampling soils*. Government Printing Office.
- Sharp, J. H., Rinker, K. R., Savidge, K. B., Abell, J., Benaim, J. Y., Bronk, D., ... & Hansell, D. (2002). A preliminary methods comparison for measurement of dissolved organic nitrogen in seawater. *Marine Chemistry*, 78(4), 171-184.
- Smith, K. A. (2000). *Soil and environmental analysis: physical methods, revised, and expanded*. CRC Press.
- Stevenson, F. J., & Cole, M. A. (1999). *Cycles of soils: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*. John Wiley & Sons.
- Sukor, A. (2013). *Effects of cyanobacterial fertilizers compared to commonly-used organic fertilizers on nitrogen availability, lettuce growth, and nitrogen use efficiency on different soil textures*. Colorado: Colorado State University. Department of Soil and Crop Sciences.

Taiyun Wei and Viliam Simko (2017). R package ‘‘corrplot’’: Visualization of a Correlation Matrix (Version 0.84).

Thompson, M., Owen, L., Wilkinson, K., Wood, R., & Damant, A. (2004). Testing for bias between the Kjeldahl and Dumas methods for the determination of nitrogen in meat mixtures, by using data from a designed interlaboratory experiment. *Meat science*, 68(4), 631-634.

Turan, M. A., Katkat, A. V., Özsoy, G., & Taban, S. (2010). Bursa ili alüvyal tarım topraklarının verimlilik durumları ve potansiyel beslenme sorunlarının belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(1), 115-130.

Urban, W. C. (1971). Modification of the Kjeldahl nitrogen determination method. *Analytical Chemistry*, 43(6), 800-801.

Yiğit, Z. (2015). Tarımsal havza sulak alanlarında karbon ve nütrient birikimi.

Walworth, J. (2006). Soil sampling and analysis.

Weier, K. L., & Grace, P. R. (2012). A review of denitrification on Australian dairy farms. *Dairy Australia, Victoria. Available at*.

Wollenhaupt, N. C., & Wolkowski, R. P. (1994). Grid soil sampling. *Better Crops*, 78(4), 6-9.

http-1. [https://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/epw11920/\\$FILE/3-3.pdf](https://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/epw11920/$FILE/3-3.pdf) (Erişim Tarihi: 02.07.2019)

http-2.

https://eskisehir.tarimorman.gov.tr/Belgeler/2016_Faaliyet_Raporu/2016%20Y%C4%B1%20Faaliyet%20Raporu.pdf (Erişim Tarihi: 21.05.2019)

http-3.

<https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/TOPRAKSU%20GÜBRE%20TAVSİYE%20%20Verileri.pdf> (Erişim Tarihi: 30.05.2019)

EKLER

Ek-1. ISUEP-2018 Tam Metin Bildiri

Tarım Topraklarında Denitrifikasyon Sürecinde Oluşan Sera Gazları ve Küresel Ölçekte Etkisi

Rabia KONAKCI¹, Zehra YİĞİT AVDAN²

¹Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği ABD, Eskişehir, Türkiye;
rkonakci@anadolu.edu.tr

²Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye;
zyigit@anadolu.edu.tr

Özet

Bitkilerin yapı ve fonksiyonlarında önemli bir rol oynayan azot, doğada bir döngü halinde bulunmaktadır. Bu döngüde azotun temel kaynağı atmosferde gaz halinde bulunan serbest azot (N_2) ve organik maddenin yapısında bulunan bağlı azottur. Doğada azot döngüsü üç ana aşamada gerçekleşir. İlk olarak, havada serbest halde bulunan azotun atmosferik fiksasyon olarak adlandırılan yüksek enerji fiksasyonu (kozmetik radyasyon, şimşek) ile oluşan amonyak ve nitratların yağmur suyu ile yeryüzüne taşınmasıyla simbiyotik yolla veya serbest yaşayan organizmalarca (mavi yeşil algler ve bakteriler) biyokimyasal olarak organik forma indirgenmesi gerçekleşir. İkinci olarak, organik maddenin parçalanarak mineralleşmesi (amonifikasyon, nitrifikasyon ve denitrifikasyon) ile mineral azotun (NO_3^- ve NH_4^+) oluşumu gözlemlenir ve son aşamada mineral azotun bitkilerce alınıp tekrar organik yapıya katılmasıdır.

Toprakta organik bağlı azot, amonyak ve nitrit üzerinden nitrata dönüşürken, bu olay bitki bünyesinde nitratin nitrit üzerinden amonyağa dönüşmesi ve organik yapılara katılması ile son bulmaktadır. Bitkiler tarafından alınan amonyum ise direkt olarak amonyak üzerinden organik yapılara katılmaktadır. Dolayısıyla bitkilerin azot beslenmesi, topraktaki mineralleşme oranı, bitki türlerinin topraktaki nitrati ve amonyumu indirgeme kapasitesi ile ilişkilidir. Toprakta organik azotun mineralizasyonu birçok ortamsal faktöre bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bu ortamsal faktörler arasında organik maddenin yapısı, toprağın nem içeriği ve maksimal su tutma kapasitesi, pH, sıcaklık, ve besin elementlerinin miktarı sayılabilir.

Tarımsal faaliyetler; üç ana sera gazı olan karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) ve nitroz oksit (N_2O) için bir kaynak konumundadır. Sektörel bazda en önemli sera gazı sorunu karbondioksit (CO_2) oluştururken tarım için en önemli sera gazı bitkisel üretim dikkate alındığında nitroz oksit (N_2O)'dir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Nisan 2018'de yayınlanan Seragazı Emisyon İstatistikleri'ne göre N_2O emisyonlarındaki en büyük payı tarımsal faaliyetler oluşturmaktadır. N_2O emisyonlarının %77,6'sı tarımsal faaliyetlerden, %12,1'i enerjiden, %6,5'i atıktan, %3,8'i ise endüstriyel işlemler ve ürün kullanımından kaynaklanmaktadır. Aynı kurumun 2012 yılı verileri incelendiğinde N_2O emisyon miktarının %74'ü tarımsal faaliyetlerden kaynaklı olarak gerçekleşmiştir. Bu yıllar arasında tarım topraklarından kaynaklı N_2O emisyon miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Artan miktarlarda atmosfere geçen nitroz oksit (N_2O) gazı ozon tabakasının zarar görmesine neden olmaktadır. Küresel İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 4. Raporunda belirtilen 100 yıllık bir zaman dilimi için N_2O gazı birim kütlesinin CO_2 gazı birim kütlesi olarak 298 kez küresel ısınma potansiyeline katkısı olduğu kabul edilmektedir. Tarım topraklarında gerçekleşen N_2O salınımı mikrobiyal süreç olan denitrifikasyon sürecinin bazı faktörlerden kaynaklı tam olarak gerçekleşmemesinden dolayı oluşmaktadır. Bu faktörler toprağın O_2 içeriği, toprak sıcaklığı,

mineral azot içeriği, toprak pH'ı ve toprak nem içeriği olarak sayılabilir. Bu faktörler üzerine, toprak yönetimi ile ilgili uygulamaların etkisi dolaylı olarak N₂O salınımı düzeylerini etkileyebilmektedir.

Bu çalışmada tarımsal üretimden kaynaklı N₂O gazı emisyonunun küresel iklim değişikliği kapsamında irdelenmesi gerçekleştirilmiştir. Küresel iklim değişikliğinin azot döngüsü üzerindeki etkisi ile birlikte özellikle topraktaki döngünün N₂O gaz emisyonları ve ölçümleri üzerindeki etkisi tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Azot Döngüsü, Denitrifikasyon, Küresel İklim Değişikliği, Nitröz Oksit Emisyonu, Tarımsal Alan Toprakları

Abstract

Nitrogen, which plays a very important role in the structure and function of the plants, is in a state of a cycle in nature. In this cycle, the nitrogen source is the gaseous free nitrogen (N₂) in the atmosphere and the bound azotite present in the structure of the organic material. The nitrogen cycle in the soil occurs in three main stages. First, biochemically reducing biochemical organisms (blue green algae and bacteria) by symbiotic or free living organisms by transporting ammonia and nitrates formed by high energy fixation (cosmic radiation, lightning) to the earth by rainwater, which is called free atmosphere nitrogen in the air (ammonification, nitrification and denitrification) and mineral nitrogen (NO₃⁻ and NH₄⁺), and finally to the mineral nitrogen plants and then to the organic structure again.

As the nitrogen, ammonia and nitrite convert to nitrate through soil organic bound nitrogen, this event ends with nitrate being transformed into nitric oxide through ammonia and organic formation. Ammonium taken by the plants is directly added to the organic structure via ammonia. Therefore, the nitrogen feeding of plants, the mineralization rate in the soil is related to the nitrate and ammonium reduction capacity of the plant species in the soil. Mineralization of organic nitrogen in soils occurs due to many environmental factors. These environmental factors include the structure of the organic matter, the moisture content of the soil and the maximum water holding capacity, pH, temperature, and the amount of nutrients.

Agricultural activities; It is a source for three main greenhouse gases carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O). The most important greenhouse gas issue for the sector is carbon dioxide (CO₂), while the most important greenhouse gas for agriculture is nitrous oxide (N₂O) when plant production is taken into account. Turkey Statistical Institute (TSI), the largest share in N₂O emissions according to the Greenhouse Gas Emissions Statistics, published in April 2018 constitutes agricultural activities. 77,6% of N₂O emissions were from agricultural activities, 12,1% from energy, 6,5% from waste, and 3,8% from industrial operations and product use. When the 2012 data for the same institution were analyzed, 74% of the N₂O emission amount was derived from agricultural activities. It has been observed that the amount of N₂O emissions from agricultural soils increased during these years. Increasing amounts of nitrous oxide (N₂O) gas passing through the atmosphere causes the ozone layer to be damaged. N₂O gaseous unit mass for a 100-year time period specified in the Fourth Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is assumed to be 298 times the global warming potential contribution of CO₂ gas as unit mass. Occurrence of N₂O in agricultural soils occurs because microbial process denitrification process is not fully realized due to some factors. These factors include soil O₂ content, soil temperature, mineral nitrogen content, soil pH and soil moisture content. On these factors, the impact of land management practices may indirectly affect the levels of N₂O emissions.

In this study, the emission of N₂O gas from agricultural production will be analyzed within the scope of global climate change. The impact of global climate change on the nitrogen cycle will be discussed, particularly the impact on N₂O gas emissions and measurements on the ground.

Keywords: Nitrogen Cycle, Denitrification, Global Climate Change, Nitrous Oxide Emission, Agricultural Field Soils

GİRİŞ

Azot, protein, DNA ve RNA'nın temel bir bileşenidir bu nedenle organizmaların büyümesi ve gelişmesi için en önemli unsurlardan biridir. Yeryüzündeki azot, hem inorganik (amonyak, N_2 , NO_3^- , NO_x , vb.) hem de organik (amino ve nükleik asitler vb.) formlarda bulunur [1,2]. Ayrıca, bitki gelişiminde dolayısı ile tüm canlıların yaşamında çok büyük öneme sahip makro besin elementlerinden biridir. Bitkilerce topraktan alınan besinlerden en fazla ihtiyaç duyulana azottur. Azot bitkide protein, amino asit, nükleik asit, klorofil gibi önemli işlevleri bulunan organik bileşiklerin yapısında bulunur. Bitkiler azot ihtiyaçlarını topraktaki azottan karşıladığı için topraklarda bitkilerin yararlanabileceği form ve miktarda azot bulunup bulunmadığı çok büyük önem taşımaktadır. Ancak canlılar için bu kadar büyük öneme sahip olan azot doğada minerallerin yapısında yer almayan tek besin elementidir [3,4]. Havada %79 oranında bulunan en fazla gaz azot iken bu gazdan bitkiler direkt olarak yararlanamamaktadırlar. Bitkilerin yararlanması için bu azotun inorganik forma çevrilmesi gerekir. Atmosferde yüksek miktarlarda olduğu halde bitki için yararlısız durumda bulunan moleküler yapıdaki azotun fikse edilerek organik forma çevrilmesi doğada azot döngüsünün bir parçasıdır.

Doğada azot döngüsü serbest azotun atmosferik fiksasyon ile organik forma indirgenmesi, organik maddenin mineralizasyonu (amonifikasyon, nitrifikasyon ve denitrifikasyon) ile mineral azot olarak adlandırılan nitrat (NO_3^-) ve amonyum (NH_4^+) azotunun oluşumu ve son olarak mineral azotun bitkilerce alınarak tekrar organik yapıya katılması olarak üç aşamada gerçekleşir [2,4,5,6].

Dünyadaki yaşam, sera etkisiyle kontrol edilen bir sıcaklık aralığına bağlıdır. Geçmiş yıllarda karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) ve nitroz oksit (N_2O) olmak üzere sera gazı (GHG) konsantrasyonundaki değişimler ortaya çıkmış ve küresel sıcaklıktaki artışla ilişkilendirilmiştir. Bu gazlar atmosferde 114 yıldan daha uzun bir süre dayanabilme ve CO_2 'den 298 kat daha fazla küresel ısınma potansiyeline sahip olmasından dolayı nitroz oksit (N_2O) küresel ölçekte büyük bir öneme sahiptir [1,7,8]. Nitroz oksit emisyonlarının çoğu toprakta meydana gelir ve tarımsal faaliyetlerle ilgilidir. Dünyada N_2O emisyonlarının yaklaşık % 87.2'si tarım alanlarından kaynaklanmaktadır [9,10].

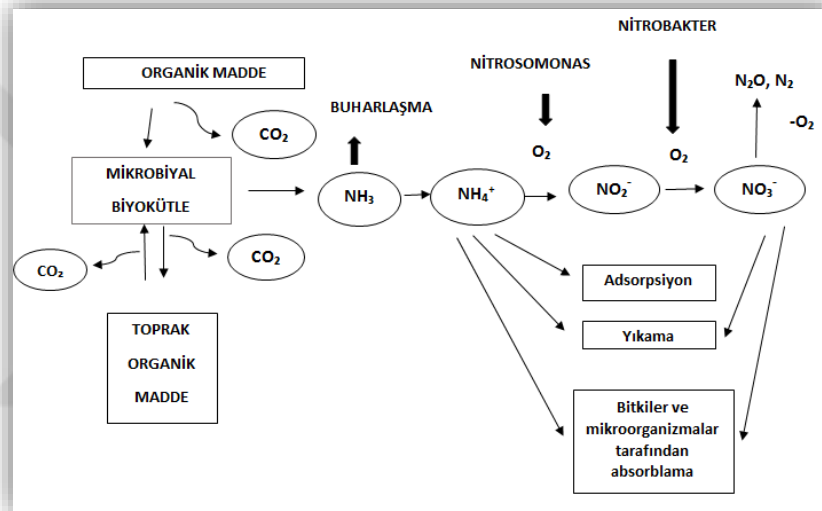
AZOT DÖNGÜSÜ

Azot döngüsü, atmosferik diazot (N_2) gazının kimyasal reaksiyonlara maruz kaldığı, formları değiştirdiği ve canlı organizmalar da dahil olmak üzere yeryüzündeki farklı rezervuarlar üzerinden aktarıldığı bir dizi biyogeokimyasal süreçtir [1,4].

Topraktaki azot organik ve inorganik formdadır. Organik formlar proteinler, amino asitler ve amino şekerleri içerir. İnorganik formlar amonyum (NH_4^+), nitrat (NO_3^-), nitrit (NO_2^-), nitroz oksit (N_2O), nitrik oksit (NO) ve elementel N (N_2) formlarını içerir. Toprakta organik maddeye bağlı azot çoğunlukla proteinlerin yapı taşı olan aminoasitler şeklindedir. İnorganik olarak bağlı olan azot ise çoğunlukla amonyum ve nitrat bileşikleri şeklindedir. Amonyumun (NH_4^+) az bir miktarı değiştirilebilir durumda toprak kolloidleri tarafından tutulur. Çok az miktar azot ise nitrit (NO_2^-) halinde bulunur. Toprakta NH_4^+ , NO_2^- ve NO_3^- bileşikleri bitkiler tarafından alınabilir azot durumundadır. Toprakta çok fazla bulunması ve oldukça hareketli yapıda olmasından dolayı nitrat (NO_3^-), bitkiler tarafından alınan azotun ana formudur.

Azot fiksasyonu, mineralizasyon, amonyak (NH_4^+) oksidasyonu, nitrifikasyon, asimilasyon ve denitrifikasyonun da dahil olduğu azot döngüsünde birkaç önemli süreç vardır. Toprak mikroorganizmaları ve faunası özellikle de bakteriler bu azot dönüşümlerinin hepsinde büyük rol oynamaktadır. Sonuç olarak, mikrobiyal aktiviteleri etkileyen sıcaklık ve nem gibi faktörler de toprak azot döngüsünü etkilemektedir.

Azot fiksasyonu, diazot (N_2) gazının amonyuma (NH_4^+) dönüşümü şeklinde tanımlanabilir. N_2 fiksasyon bakterileri tarafından gerçekleştirilen biyolojik N_2 fiksasyonunun yanı sıra, doğada yıldırım olayı ve antropojenik aktivitelerden kaynaklı fosil yakıt yanması, sentetik azot gübre üretimi gibi biyolojik olmayan N_2 sabitleme işlemleri ile de gerçekleşmektedir. Bir başka NH_4^+ kaynağı, N mineralizasyonundan organik N'nin amonyum (NH_4^+)'a toprak ayrıştırıcı mikroorganizmalar tarafından dönüştürülmesidir. Elde edilen amonyum, toprak partiküllerine bağlanarak veya direkt olarak toprak çözeltisinde kalmaktadır. Bakteri ve archaea tarafından amonyum oksidasyonuna uğrar ve hidroksilamin (NH_2OH) oluşturulur. Bundan sonra, bazı bakteriler, archaea ve mantarlar, NH_2OH 'yi nitrite (NO_2^-) ve son olarak nitrate (NO_3^-) dönüştürerek nitrifikasyonu gerçekleştirirler. Havalandırılan topraklardaki nitratın çoğu bitki ve canlı organizmalar tarafından immobilize edilmektedir. Bitkilerce asimile edilememiş olan nitrat (NO_3^-), anaerobik koşullar altında kullanılabilir; denitrifikasyon prosesi sonucunda NO_3^- atmosferik N havuzuna geri dönen N_2 'ye dönüştürülür. Toprakta atmosfere kaybolan reaktif N formları olan nitrik oksit (NO) ve nitroz oksit (N_2O) gazları denitrifikasyon reaksiyonu ara ürünleri olarak oluşmaktadır [1,2].



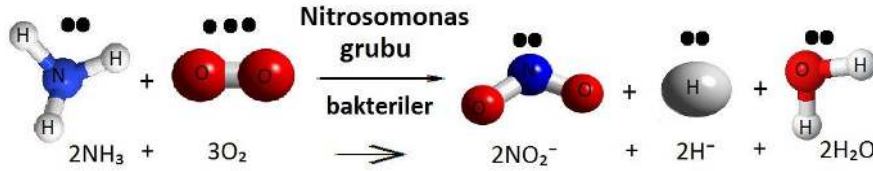
Şekil 1. Topraktaki organik bileşiklerde bulunan azotun mineralizasyonu

Toprakta, organik maddenin mineralizasyonu amonifikasyon, nitrifikasyon ve denitrifikasyon aşamasından oluşmaktadır. Nitrifikasyon olayı ile azot formları doğada tutulmakta ve nitrifikasyon süreci boyunca Nitrosomonas grubu bakterileri tarafından amonyum (NH_4^+) azotu nitrat (NO_3^-) azotuna dönüşmektedir [11,12,17]. Nitrat (NO_3^-)'ın inert diazot (N_2) gazına dönüştüren anaerobik mikrobiyal işlem olan denitrifikasyon tarım sisteminin sürdürülebilirliğini korumaktadır. Denitrifikasyon süreci; topraktaki oksijen miktarı, nitrat (NO_3^-) ve organik karbon (C) seviyeleri de dahil olmak üzere üç temel kontrol edici faktör tarafından belirlenmektedir. Tüm bu faktörler sağlanırsa diazot (N_2), denitrifikasyon süreci sonunda birincil son ürün olarak ortaya çıkmaktadır [7,11].

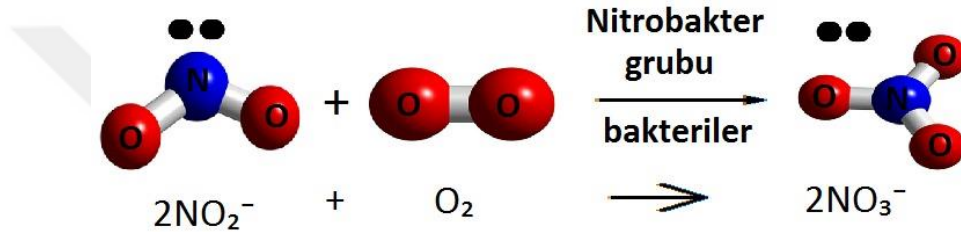
Denitrifikasyon süreci tam olarak gerçekleşmezse, ara ürün olarak NO ve N_2O sera gazları yayılarak küresel ısınmaya neden olmaktadır. Denitrifikasyon sürecinde Nitrobakter grubu bakterileri ile diazot (N_2) gazına dönüşme süreci gerçekleşmektedir. Ayrıca bu biyolojik transformasyonda archaea ve bazı mantarlar da görev almaktadır [1,12].

Nitrifikasyon ve denitrifikasyon sürecinde mikroorganizmaların aktivitesi için sıcaklık ve nem çok önemlidir. Bu sürecin optimum koşullarda gerçekleşmesi için toprak sıcaklığı 25 °C ile 35 °C arasında,

pH 7 ile 9 arasında yaklaşık olarak nötr veya hafif bazik ve oksijen içeriği doymun olmalıdır. Bu şartlar oluşmadığında mikroorganizmalar dönüşümü tam olarak gerçekleştiremez ve denitrifikasyon aşamasının son ürünü olan diazot (N_2) yerine nitroz oksit (N_2O) gazı oluşmaktadır. Hem nitrifikasyon hem de denitrifikasyon sürecinde topraktaki nem içeriği ve sıcaklık artışına bağlı olarak N_2O gazının oluşumu da artmaktadır. Toprak sıcaklığı ve nem sadece N_2O üretimini değil N_2O gazının atmosfere yayılışını da hızlandırmaktadır [5,11,13,14,15,16].



Şekil 2. Nitrosomonas grubu bakterileri tarafından nitrit (NO_2^-) oluşumu



Şekil 3. Nitrobakter grubu bakterileri tarafından nitrat (NO_3^-) oluşumu

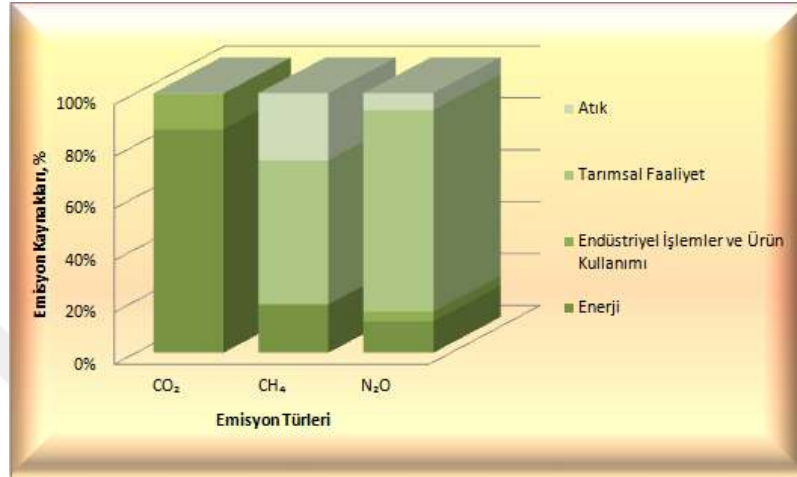
SERA GAZLARI VE TARIMIN KÜRESEL ISINMAYA ETKİSİ

Atmosferdeki sera gazı konsantrasyonu, Sanayi Devrimi'nin başlangıcından bu yana önemli ölçüde artmıştır. Su buharı ve karbondioksit (CO_2) en önemli seragazı (GHG) olmasına rağmen metan (CH_4), nitroz oksit (N_2O), ozon, halokarbonlar ve aerosol gibi diğer gazlar da atmosfer sıcaklığını artırabilir. İnsan etkisi düşünüldüğünde küresel ısınmaya etkisi en fazla olan CO_2 , CH_4 ve N_2O gazlarıdır. Bu nedenle, bu üç sera gazı Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli rehberi doğrultusunda en önemli sera gazları olarak kabul edilmiştir. Atmosferde bulunan sera gazları kızılötesi radyasyonunu absorblar ve ısının derecesini artırır bundan dolayı atmosfer sıcaklığıda artmaktadır. Bu sürece küresel ısınma potansiyeli (GWP) denir. GWP, her bir gazın karakteristiğidir ve atmosferdeki ömrünün bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Atmosferde en fazla bulunan emisyon gazı CO_2 gazı olduğundan GWP, CO_2 ile derecelendirilir. 100 yıllık bir zaman dilimi dikkate alındığında, metan (CH_4) ve nitroz oksit (N_2O) gazlarının birim kütlelerinin sırasıyla küresel ısınma potansiyelleri karbondioksit (CO_2) birim kütlesinden 25 ve 298 kat daha fazla olduğu kabul edilmektedir [1,3,9]. Aynı zamanda, nitroz oksit (N_2O) atmosferde çok uzun zaman boyunca kalan ozon tabakasını incelten bir alt tabaka görevi görür [1,18]. Genel olarak, küresel ısınma üzerindeki etkisinden ve stratosferik ozon tahribatına önemli ölçüde neden olduğundan bahsedilmektedir. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörlerin karmaşıklığı ve topraktaki N_2O üreten süreçler üzerindeki etkileşimler ve ölçümlerle ilgili belirsizlikler, küresel N_2O bütçelerinin geliştirilmesini belirsiz kılmıştır. Farklı kimyasal gübrelerden gelen nitroz oksit emisyonları, ölçüm çalışmalarında çok fazla vurgulanmış olmasına rağmen gübre uygulamalarından ve baklagil (N_2 sabitleme) ürünlerinden kaynaklanan emisyonlara çok az dikkat çekilmiştir [9].

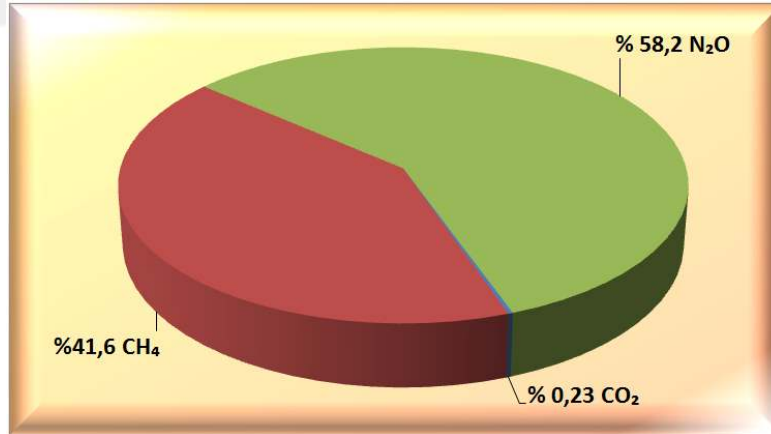
Nitroz oksit (N_2O) emisyonunun global kaynaklarının, etkilerinin ve kontrollerinin nerede uygulanacağını belirlemek için yapılan çalışmalar küresel ölçekte devam etmektedir. Tarımın 1986

yılından 2026'ya kadarki küresel N_2O yüklemesine katkısının, esas olarak N gübrelerinden dolayı % 90 artacağı düşünülmektedir [9].

Ülkemizde bulunan tarım topraklarından kaynaklı nitroz oksit (N_2O) emisyonu değerlendirildiğinde, TÜİK tarafından elde edilen 2016 yılı sera gazı emisyon envanteri sonuçlarına göre, 2016 yılında toplam sera gazı emisyonu CO_2 eşdeğeri olarak 496,1 milyon ton (Mt) olarak hesaplanmıştır. 2016 yılı emisyonlarında CO_2 eşdeğeri olarak en büyük payı %72,8 ile enerji kaynaklı emisyonlar alırken, bunu sırasıyla %12,6 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %11,4 ile tarımsal faaliyetler ve %3,3 ile atık takip etmiştir [19].



Şekil 4. Farklı kaynaklardan oluşan CO_2 , CH_4 , N_2O seragazlarının yüzdelik gösterimi (TÜİK, 2018 verileri kullanılmıştır.)



Şekil 3. Tarımsal kaynaklı sera gazı salınımları dağılımlarının yüzde olarak gösterimi (TÜİK, 2018 verileri kullanılmıştır.)

Sera gazlarının salınması nedeniyle iklim değişikliği dünya çapında giderek önem kazanan ciddi bir sorun olmaya devam etmektedir. Nitroz oksit gazının etkisi dünya çapında incelendiğinde son on yılda, tarımsal ekosistemlerde yoğun azot içerikli gübre uygulamalarından dolayı atmosferik nitroz oksit (N_2O) gazının % 80 artış göstermiştir. Bununla birlikte, ilgili araştırmalar farklı ürün alanlarından kaynaklı N_2O emisyonlarının karşılaştırılması üzerine katkı sağlayamamıştır.

SONUÇ

Nitröz oksit (N_2O), yüksek küresel ısınma potansiyeli olması nedeniyle önemli bir sera gazıdır. Nitröz oksit gazı emisyonlarının çoğu toprakta meydana gelir ve tarımsal faaliyetlerle ilgilidir. Tarımsal topraklarda gerçekleşen nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçleri boyunca oluşan nitröz oksit gazı atmosfere yayılan N_2O 'nun ana kaynağıdır. Kontrolsüz şekilde azotlu gübre kullanımı, azot döngüsü için gerekli olan oksijenin sınırlı olması veya topraktaki organik karbonun fazla olmasından kaynaklı mikroorganizmaların oksijen yerine nitrat (NO_3^-) ve nitrit (NO_2^-)'i kullanmasından dolayı tarım topraklarından atmosfere salınan N_2O miktarı en yüksek paya sahip olmaktadır.

Tarım topraklarından kaynaklı N_2O emisyonlarını azaltmak için toprak yönetimi uygulamaları kullanılabilir. Topraktaki N_2 oluşumu, esas olarak toprak nemi, sıcaklık, oksijen konsantrasyonu, toprak pH'ı, mevcut organik karbon miktarı ve C/N oranı tarafından etkilenen nitrifikasyon ve denitrifikasyon işlemleriyle gerçekleşmektedir. Bu faktörler arasında, toprak ile ilgili olanlar toprak yönetim uygulamaları ile kontrol altına alınabilmektedir. Bu nedenle, tarımsal topraklarda N_2O oluşum süreçleri ve bu emisyonları etkileyen faktörler üzerine yapılacak çalışmalarla tarımsal topraklarda N_2O emisyonlarını azaltmak için etkili stratejiler geliştirilebilmektedir.

Azot döngüsü boyunca N_2O gazı emisyonunu küresel iklim değişikliği yönünden değerlendiren ve bu emisyonların doğaya ve canlılara olan etkisi de dikkate alınarak uzun vadeli çalışmalar geliştirmek gerekmektedir. Ulusal sera gazı (GHG) tahminlerine tam manasıyla katkıda bulunacak tutarlı değerler elde etmek için emisyon ölçümlerini farklı bölgelerde tekrarlamak da önemlidir.

REFERANSLAR

- [1] Deng, H. Y. (2013). *Effect of Biochar Amendment on Soil Nitrous Oxide Emission* (Doctoral dissertation, McGill University Libraries).
- [2] Do Carmo, J. B., & Cerri, C. E. P. (2007). Nitrogen dynamics in forestry and grassland soils in the Amazon region: A review. *Outlook on agriculture*, 36(1), 41-48.
- [3] Müftüoğlu, N. M., & Demirer, T. (1998). Toprakta azot bilançosu. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 29(1), 175-185.
- [4] Tecimen, H., & Sevgi, O. (2008). Orman topraklarında mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen azot dönüşümleri. *Turkish Journal of Forestry*, 1, 179-189.
- [5] Arslan, H., & Güteryüz, G. (2002). Yüksek Bitkilerde Azotun Asimilasyonu.
- [6] KAYIKÇIOĞLU, H. H. (2008). Toprak Mikroorganizmaları Tarafından Üretilen Küresel Gazlar. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 45(1).
- [7] Hofstra, N., & Bouwman, A. F. (2005). Denitrification in agricultural soils: summarizing published data and estimating global annual rates. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 72(3), 267-278.
- [8] Signor, D., & Cerri, C. E. P. (2013). Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43(3), 322-338.
- [9] Beauchamp, E. G. (1997). Nitrous oxide emission from agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 77(2), 113-123.
- [10] Brin, L. D., Goyer, C., Zebarth, B. J., Burton, D. L., & Chantigny, M. H. (2018). Changes in snow cover alter nitrogen cycling and gaseous emissions in agricultural soils. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 258, 91-103.
- [11] Li, X., McCarty, G. W., Lang, M., Ducey, T., Hunt, P., & Miller, J. (2018). Topographic and physicochemical controls on soil denitrification in prior converted croplands located on the Delmarva Peninsula, USA. *Geoderma*, 309, 41-49.
- [12] Kayıkçıoğlu, H. H., & Okur, N. (2012). Sera gazı salınımlarında tarımın rolü.
- [13] Hermanson, R., Pan, W., Perillo, C., Stevens, R., & Stockle, C. (2000). Nitrogen use by crops and the fate of nitrogen in the soil and vadose zone. *Washington State University and Washington Department of Ecology Interagency Agreement*, (C9600177).
- [14] Bolat, İ. (2011). Kayın, göknar ve göknar-kayın meşcerelerinde üst toprak ve ölü örtüdeki mikrobiyal biyokütle karbon (C_{mic}), azot (N_{mic}), fosfor (P_{mic}) ve mikrobiyal solunumun mevsimsel değişimi.
- [15] CHEN, Z., YANG, S. Q., ZHANG, A. P., JING, X., SONG, W. M., MI, Z. R., ... & YANG, Z. L. (2017). Nitrous oxide emissions following seasonal freeze-thaw events from arable soils in Northeast China.
- [16] Grave, R. A., da Silveira Nicoloso, R., Cassol, P. C., da Silva, M. L. B., Mezzari, M. P., Aita, C., & Wuaden, C. R. (2018). Determining the effects of tillage and nitrogen sources on soil N₂O emission. *Soil and Tillage Research*, 175, 1-12.
- [17] Samsunlu, A. (2005). Çevre Mühendisliği Kimyası, Birsen Yayınevi.
- [18] Rochette, P., Liang, C., Pelster, D., Bergeron, O., Lemke, R., Kroebe, R., ... & Flemming, C. (2018). Soil nitrous oxide emissions from agricultural soils in Canada: Exploring relationships with soil, crop and climatic variables. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 254, 69-81.
- [19] TÜİK, 2018. Seragazi Emisyon Envanteri 1990 -2016. T.C. İstatistik Kurumu Başkanlığı Haber Bülteni.Yayınlanma Tarihi: 13 04 2018, Sayı: 27675. Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Rabia Konakcı
Yabancı Dil : İngilizce - Almanca
Doğum Yeri ve Yılı : Eskişehir / 02.07.1991
E-Posta : rkonakci@eskisehir.edu.tr

Eğitim Geçmişi:

- 2019, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
- 2015, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği

Yayınları ve Bilimsel Faaliyetleri:

- Konakcı, R. Avdan Yiğit, Z. (2018). Tarım Topraklarında Denitrifikasyon Sürecinde Oluşan Sera Gazları ve Küresel Ölçekte Etkisi. *Uluslararası Kentleşme ve Çevre Sorunları Sempozyumu: Değişim/Dönüşüm/Özgünlük*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, Haziran 28-30, 2018, ISUEP. s.267-274. ISBN: 978-605-01-1252-8
- Kouba, V. Markova, E. Vejmelkova, D. Widiayuningrum, P. Konakci, R. Hejnic, J. Jenicek, P. Bartacek, J. (2016). Optimizing anammox for treatment of anaerobically pre-treated municipal wastewater. 3. *IWA Specialized International Conference Ecotechnologies for Wastewater Treatment*. Cambridge.