

**FARKLI ALAN KULLANIMLARINDA
TOPRAK ORGANİK KARBON
DİNAMİĞİNİN BELİRLENMESİ
Yüksek Lisans Tezi**

Gölperi EVLİYAOĞLU

Eskişehir 2019

**FARKLI ALAN KULLANIMLARINDA TOPRAK ORGANİK KARBON
DİNAMİĞİNİN BELİRLENMESİ**

Gölperi EVLİYAOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Zehra YİĞİT AVDAN

Eskişehir

Anadolu Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ağustos 2019

*Bu tez çalışması BAP Komisyonu tarafından kabul edilen 1804F094 no.lu proje
kapsamında desteklenmiştir.*

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Gölperi EVLİYAOĞLU'nun "Farklı Alan Kullanımlarında Toprak Organik Karbon Dinamiğinin Belirlenmesi" başlıklı tezi 09/08/2019 tarihinde aşğıdaki jüri tarafından değeriendirilerek "Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğı"nin ilgili maddeleri uyarınca, Çevre Mühendisliğı 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 TOPRAK ORGANİK KARBON DİNAMİĞİNİN BELİRLENMESİ

Gülperi EVLİYAOĞLU

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri Bilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ağustos 2019

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Zehra YİĞİT AVDAN

Toprak, karasal biyosferin en büyük karbon (C) rezervidir. Toprak karbonu, atmosferik karbonun üç katı kadardır, dolayısıyla toprak karbonundaki en ufak değişiklik bile atmosferik karbonu etkilemektedir. Toprak ve atmosfer arasındaki karbondioksit (CO₂) akışı, yüksek biyobozunurluk oranıyla topraktaki CO₂'nin dışarı akışını doğrudan etkileyen 'su ile ekstrakte edilebilen organik karbon (SEEOK)' fraksiyonuna ve arazi kullanım değişimlerine kuvvetle bağlı olan bir süreçtir. Fosil yakıt tüketimindeki artış, ormanların tahribi, geleneksel tarım uygulamaları, arazi kullanımlarının değişmesi, meraların tarıma açılması, endüstriyel gelişmeler gibi nedenlerden dolayı atmosferdeki CO₂ seviyesi artmaktadır. Bu artışın önüne geçebilmenin en ucuz ve en iyi yollarından biri, karbonu toprakta depolamaktır.

Bu çalışmanın amacı, Eskişehir ilindeki toprak organik karbon (TOK) dinamiğinin, farklı alan kullanımlarıyla (mera, tarım, orman) ve derinlikle nasıl değiştiğini, diğer toprak parametreleri ile nasıl bir ilişki içerisinde olduğunu; bunun yanında SEEOK fraksiyonunun detaylı incelenebilmesi için hem 'soğuk ve sıcak' hem de 'sadece sıcak' ekstraksiyon ile farklı alan kullanımlarında optimum ekstraksiyon yöntemini belirlemektir.

Yapılan analizler ve istatistiksel değerlendirmeler sonucunda TOK ile SEEOK ve sıcak SEEOK (SSEEOK) değerleri arasında pozitif korelasyonlar görülmüştür (sırasıyla, R= 0.834; R= 0.785, p< 0.01). TOK, SEEOK ve SSEEOK, mera ve orman alanlarında derinlik arttıkça azalmış; tarım alanında önemli bir değişim göstermemiştir. SSEEOK analizinin mera alanında yetersiz olduğu; tarım ve orman alanlarında SEEOK analizine kıyasla çok daha başarılı olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Ekstrakte edilebilen organik karbon, Farklı alan kullanımı, Karbon dinamiği, Organik karbon, Organik madde.

ABSTRACT

DETERMINATION OF SOIL ORGANIC CARBON DYNAMICS IN LAND USE CHANGES

Gölperi EVLİYAOĞLU

Department of Environmental Engineering

Programme in Environmental Sciences

Anadolu University, Institute of Graduate Programme, August 2019

Supervisor: Asst. Prof. Zehra YİĞİT AVDAN

Soil is the largest carbon (C) reserve of the terrestrial biosphere. The soil carbon is three times that of atmospheric carbon, so even the slightest change in soil carbon affects atmospheric carbon. The carbon dioxide (CO₂) flow between the soil and the atmosphere is a process which is strongly dependent on the 'water extractable organic carbon (WEOC)' fraction which directly affects the CO₂ outflow in the soil with a high biodegradability rate and land use changes. The level of carbon dioxide (CO₂) in the atmosphere is increasing due to the increase in fossil fuel consumption, destruction of forests, conventional agricultural practices, land use changing, turning pastures into agriculture and industrial developments. One of the cheapest and best way to prevent CO₂ growth is to store carbon in the soil.

The aim of this study is to determine how soil organic carbon (SOC) dynamics in Eskişehir province changes with different land uses (pasture, agriculture, forest) and depth, and how it correlates with other soil parameters; in addition, in order to examine WEOC fraction in detail, both 'cold and hot' and 'only hot' extractions are used to determine the optimum extraction method in different land uses.

As a result of the analyzes and statistical evaluations, positive correlations were found between SOC, WEOC and hot WEOC (HWEOC) values ($R = 0.834$; $R = 0.785$, $p < 0.01$, respectively). SOC, WEOC and HWEOC decreased with increasing depth in pasture and forest lands; did not change significantly in the agricultural land. HWEOC analysis is insufficient in the pasture land; but much more successful in agriculture and forest lands than WEOC analysis.

Keywords: Extractable organic carbon, Land use change, Carbon dynamic, Organic carbon, Organic matter.

TEŞEKKÜR

Her şeyden evvel, başarılarımda ve hatalarımda, gururla maddi ve manevi arkamda olan kıymetlerim Hülya & Şahin Evliyaoğlu'na,

Akademik hayatımdaki danışmanlığı ve özel hayatımdaki ablalığının yanısıra bana karşı her zaman sunduğu sonsuz bilgisi, sabrı, hoşgörüsü, güler yüzü, güveni, adaletli duruşu için değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Zehra YİĞİT AVDAN'a,

Tez çalışmamın her aşamasında beni kendi öğrencilerinden ayırmayan ve her türlü imkanı sağlayan değerli büyüğüm, hocam Doç. Dr. Uğur AVDAN'a ve tüm Eskişehir Teknik Üniversitesi Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü ailesine,

Saha çalışmasının başından sonuna yanımda olan ve yardımlarını eksik etmeyen Nazım ERDURAN, Fatih ÖZTÜRK, Kalabak Orman İşletme Şefi Ömer OĞLAKKAYA, Orman Toprak ve Ekoloji Araştırmaları Enstitüsü Başmühendisi Dr. Aydın ÇÖMEZ'e,

Analiz aşamasındaki değerli yardımları için hocalarım Doç. Dr. Serdar GÖNCÜ, Araş. Gör. Dr. Eda TUNA ÖZTÜRK, Doç. Dr. Aysun ÖZKAN, Doç. Dr. Erhan AYAS, Dr. Öğr. Üyesi Murat KILIÇ, Dr. Öğr. Üyesi İrfan TÖRE'ye; arkadaşlarım Rabia KONAKCI, Emre TURGUT, Şahin SÜREN, Fatih ÖZSÜRER, Erkin İsmet ERDEM'e,

Hayatımın her anında olduğu gibi tez çalışmamda da maddi ve manevi destekleri, her türlü yardımları ve sabırları için kıymetlerim Muhammed ULUTAŞ, Gülseli EVLİYAOĞLU ve Dilan KOCABAŞ'a

Hem lisans hem de yüksek lisans tezimde engin bilimsel etik ahlakından yararlandığım; tezimin bilimsel etik ve kurallara uygun, intihal içermeyen, özgün bir çalışma olmasında payı büyük olan Sn. Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÖZDEN ÜZMEZ'e,

Mühendis kimliğime olduğu gibi müzisyen kimliğime de gösterdiği saygı, her iki mesleğimin layığıyla icrası konusunda verdiği cesaret ve inandığım değerlerin peşinden koşmamda bana olan desteği için Sn. Prof. Dr. Eftade Emine GAGA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sizler olmadan başaramazdım.

Gülperi EVLİYAOĞLU

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.

Gülperi EVLİYAOĞLU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
GÖRSELLER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. TOPRAK.....	3
2.1. Toprak Organik Maddesi	3
2.2. Toprak Organik Karbonu	4
2.2.1. Su ile Ekstrakte Edilebilen Organik Karbon	7
2.2.2. Karbon Döngüsü	8
2.3. Literatür Araştırması.....	12
3. FARKLI ALAN KULLANIMLARI	22
3.1. Sera Gazı Emisyonları.....	26
4. MATERYAL & METOT	30
4.1. Çalışma Alanı	30

4.2. Örneklerin Alınması ve Toprak Ön İşlemleri.....	31
4.3. Toprak Fiziksel Özellikleri	34
4.3.1. Yığın Yoğunluğu ve Nem İçeriği	34
4.3.2. Partikül Boyut Analizi.....	35
4.4. pH ve Elektriksel İletkenlik Analizi.....	36
4.5. Kızdırma Kaybı Analizi	37
4.6. Toplam Organik Karbon (Modifiye Walkley-Black) Analizi.....	37
4.7. Su ile Ekstrakte Edilebilen Organik Karbon (SEEOK) Analizleri	38
4.7.1. Soğuk Su ile Ekstrakte Edilebilen Organik Karbon	38
4.7.2. Sıcak Su ile Ekstrakte Edilebilen Organik Karbon.....	39
4.8. Küresel Isınma Potansiyeli	39
4.9. İstatistiksel Değerlendirme	42
5. BULGULAR.....	43
5.1. Toprak Fiziksel Özellikleri	43
5.1.1. Yığın Yoğunluğu ve Nem İçeriği	43
5.1.2. Partikül Boyut Dağılımı	46
5.2. pH ve Elektriksel İletkenlik.....	47
5.3. Organik Madde.....	48
5.4. Toplam Organik Karbon	51
5.5. C/N Oranı	52
5.6. Karbon Stoğu	53

5.7. Su ile Ekstrakte Edilebilen Organik Karbon.....	55
5.8. Küresel Isınma Potansiyeli	56
5.9. Karbon Dinamiği	57
5.10. İstatistiksel Değerlendirme	57
6. SONUÇ.....	62
KAYNAKÇA.....	65
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.1. Çalışma alanının konumları	30
Tablo 4.2. DNDC modelinde kullanılan girdiler	40
Tablo 5.1. Tüm analizlerin en küçük, en büyük ve ortalama değerleri.....	43
Tablo 5.2. Alanların partikül boyut dağılımları ve tekstür sınıfları	46
Tablo 5.3. TOK değerlerinin diğer toprak parametreleriyle oluşturduğu korelasyon katsayıları ($p < 0,01$)	52
Tablo 5.4. Farklı alan kullanımlarının küresel ısınma potansiyeli	57
Tablo 5.5. Mera ve tarım alanlarının karbon dinamiği	57
Tablo 5.6. Mera alanındaki parametrelerin Pearson korelasyon katsayıları	58
Tablo 5.7. Tarım alanındaki parametrelerin Pearson korelasyon katsayıları.....	59
Tablo 5.8. Orman alanındaki parametrelerin Pearson korelasyon katsayıları	60
Tablo 5.9. Tüm parametrelerin Pearson korelasyon katsayıları.....	61

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Farklı TOK sınıflandırmalarının birleşimi	5
Şekil 2.2. C döngüsü.....	9
Şekil 4.1. Örnekleme yeri konumları ve örnekleme için seçilen mera, tarım ve orman alanlarının genel görünüşleri	31
Şekil 4.2. Sistemik ızgara örnekleme örneği.....	32
Şekil 4.3. Toprak tekstür üçgeni	36
Şekil 5.1. Alanların derinliğe bağlı yığın yoğunluğu	45
Şekil 5.2. Alanların ortalama yığın yoğunluğu.....	45
Şekil 5.3. Alanların derinliğe bağlı nem içeriği.....	46
Şekil 5.4. Alanların ortalama nem içeriği	46
Şekil 5.5. Alanların derinliğe bağlı pH değerleri.....	47
Şekil 5.6. Alanların ortalama pH değerleri.....	47
Şekil 5.7. Alanların derinliğe bağlı elektriksel iletkenlik değerleri.....	48
Şekil 5.8. Alanların ortalama elektriksel iletkenlik değerleri.....	48
Şekil 5.9. Alanların derinliğe bağlı organik madde (beklenen) değerleri	50
Şekil 5.10. Alanların ortalama organik madde (beklenen) değerleri.....	50
Şekil 5.11. Alanların ortalama beklenen ve ölçülen OM karşılaştırması	50
Şekil 5.12. Alanların derinliğe bağlı toplam organik karbon değerleri	51
Şekil 5.13. Alanların ortalama toplam organik karbon değerleri	51
Şekil 5.14. Alanların derinliğe bağlı C/N oranı	53

Şekil 5.15. Alanların ortalama C/N oranı	53
Şekil 5.16. Alanların derinliğe bağlı C stoğu	54
Şekil 5.17. Alanların ortalama C stoğu.....	54
Şekil 5.18. Eskişehir karbon stoğunun alanlara göre dağılımı	54
Şekil 5.19. Alanların derinliğe bağlı toplam SEEOK değerleri	55
Şekil 5.20. Alanların ortalama toplam SEEOK değerleri.....	55
Şekil 5.21. Alanların toplam SEEOK ve SSEEOK karşılaştırması.....	56

GÖRSELLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Görsel 4.1. Toprak örneklerinin alınması	33
Görsel 4.2. Toprakten karot çıkarılması.....	33
Görsel 4.3. Toprak ön işlemleri (kurutma, eleme, öğütme)	34
Görsel 4.4. Yığın yoğunluğu ve nem içeriğı analizi	35
Görsel 4.5. Partikül boyut analizi.....	35
Görsel 4.6. pH ve elektriksel iletkenlik analizi	36
Görsel 4.7. Kızdırma kaybı analizi	37
Görsel 4.8. Toplam organik karbon analizi.....	38
Görsel 4.9. Su ile ekstrakte edilebilen organik karbon analizi.....	39
Görsel 4.10. DNDC modeline ait ekran görüntüleri	41

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AFOLU	: Agriculture, Forestry and Other Land Use (Tarım, Orman ve Diğer Alan Kullanımı)
C	: Karbon
CaCO ₃	: Kalsiyum karbonat
CH ₄	: Metan
CO ₂	: Karbondioksit
CO ₃ ⁻²	: Karbonat iyonu
ÇİK	: Çözülmüş İnorganik Karbon
ÇOK	: Çözülmüş Organik Karbon
DNDC	: Denitrification-Decomposition (Denitrifikasyon-Dekompozisyon)
EPA	: Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
Gt	: Gigaton
HWEOC	: Hot Water Extractable Organic Carbon (Sıcak Su ile Ekstrakte Edilebilen Organik Karbon)
ICSU	: International Council for Science (Uluslararası Bilim Konseyi)
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
KMnO ₄	: Potasyum permanganat
Mg	: Megagram
N	: Azot

NO ₂	: Azot oksit
OK	: Organik Karbon
Pg	: Petagram
SEEOK	: Su ile Ekstrakte Edilebilen Organik Karbon
SSEEOK	: Sıcak Su ile Ekstrakte Edilebilen Organik Karbon
Tg	: Teragram
TİK	: Toprak İnorganik Karbonu
TN	: Toplam Azot
TOK	: Toprak Organik Karbonu/Toplam Organik Karbon
TOM	: Toprak Organik Maddesi
UNFCCC	: United Nations Framework Convention on Climate Change (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçevesi Sözleşmesi)
WEOC	: Water Extractable Organic Carbon (Su ile Ekstrakte Edilebilen Organik Karbon)

1. GİRİŞ

Arazi kullanımı ve arazi örtüsündeki değişiklikler yerel, bölgesel ve küresel iklim süreçleriyle etkileşime girmektedir. Ortaya çıkan ekosistem tepkileri; dünya albedosunu, karbon döngüsünü ve atmosferdeki aerosollerini değiştirerek, iklim değişikliğine olumlu ve olumsuz geri dönüşlerin bir karışımını oluşturmaktadır. Dolayısıyla, karasal ekosistemler veya toprak örtüsündeki değişimler, iklim değişikliğine doğrudan bağlıdır ve iklim değişikliğiyle hem ekosistem verimliliğini hem de geri bildirimler yoluyla iklimi etkilemektedir (Hibbard vd., 2017; Myhre ve Myhre, 2003; Ward vd., 2014).

Fosil yakıt tüketimindeki artış, ormanların tahribi, geleneksel tarım uygulamaları, arazi kullanımlarının değişmesi, meraların tarıma açılması, endüstriyel gelişmeler gibi nedenlerden dolayı atmosferdeki karbondioksit (CO₂) seviyesi günden güne artmaktadır. CO₂ artışının önüne geçebilmenin en ucuz ve en iyi yollarından biri, karbonu toprakta depolamaktır. Aynı zamanda karbonun toprakta depolanması, toprağın verimini de arttırmaktadır (Koçyiğit, 2008).

Dünya genelinde yapılan modelleme çalışmalarına göre ileriki yıllarda tek başına CO₂ ve metan (CH₄) artışı, hem kara hem de okyanus tarafından karbon depolanmasını geliştirme eğiliminde; tek başına iklim değişikliği, kara ve okyanus karbonunu atmosfere salma eğiliminde olması beklenmektedir. Toprak karbonunu arttırmak, iklim dengesi ve alçalan su seviyesi çözümünün yanında toprak yapısına, üretkenliğine, su tutma kapasitesine, sağlıklı mikrobiyal toplulukların geliştirilmesine, bitkiler için verimliliğin sağlanmasına ve potansiyel yatırımların karşılığını almaya yardımcı olacaktır (Bronick ve Lal, 2005; Kane, 2015; Rawls vd., 2003; Schmidt vd., 2011; Wilson vd., 2009).

Araştırmalar, ekilmiş arazi kullanımı ile toprak karbonu tükenme sürecinin, mera kullanımı veya ağaçlandırma arazisi kullanımıyla tersine çevrilebileceğini belirtmektedir. Bu bağlamda, farklı arazi kullanım yönetiminin toprak organik madde (TOM) içeriği ve bileşimi üzerindeki etkisinin anlaşılması, toprakların atmosferik CO₂ için uygun bir yönetim ile hızlıca yutak olabilmesi açısından son derece önemlidir (Guo ve Gifford, 2002; Murty vd., 2002).

Bu çalışmanın amacı; Eskişehir ilindeki TOK dinamiğinin, farklı alan kullanımlarıyla (mera, tarım, orman) ve derinlikle nasıl değiştiğini, diğer toprak parametreleri ile nasıl bir ilişki içerisinde olduğunu; bunun yanında SEEOK fraksiyonunun detaylı incelenebilmesi için hem ‘soğuk ve sıcak’ hem de ‘sadece sıcak’

ekstraksiyon ile farklı alan kullanımlarında optimum ekstraksiyon yöntemini belirlemektir.

Bu kapsamda toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirleyebilmek adına;

- Yığın yoğunluğu,
- Nem içeriği,
- pH,
- Elektriksel iletkenlik,
- Toplam organik karbon,
- Su ile ekstrakte edilebilen organik karbon,
- Sıcak su ile ekstrakte edilebilen organik karbon,
- Kızdırma kaybı,
- Partikül boyut dağılımı

analizleri gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda analiz verileri kullanılarak Eskişehir ili karbon stoğu, karbon dinamiği ve küresel ısınma potansiyeli tahminlemesi yapılmıştır.

2. TOPRAK

Toprak; ana kayaktan belirli süreçlerin ardından oluşmuş olsa da ana kayaca biyolojik, kimyasal ve fiziksel olarak benzemeyen, katmanları olan ve bu katmanlarda farklı oranlarda organik ve inorganik (mineral) madde barındıran bir varlıktır. Toprak oluşumu ana kayacın kimyasal özelliklerinden, iklim koşullarından, yağıştan, topografyadan etkilenmektedir.

Toprakta barınan çürütücü mikroorganizmalar, toprak bünyesindeki ölü organik kısmı, enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kullanmaktadır. Yani TOM, solunum olayında bizzat yer almakta ve küresel karbon döngüsünde aktif rol almaktadır (Hanrahan, 2013).

2.1. Toprak Organik Maddesi

TOM, toprak üretkenliğine büyük katkısı olan, toprağın önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Toprak organik maddesini kararlı (stable), kararsız (labile) ve etkisiz (inert) olarak 3 ana gruba ayırmak mümkündür. Kararsız TOM, oldukça reaktiftir ve toprak mikroorganizmaları için besin ve enerji sağlamaktadır. Kararlı TOM, daha az ayrıştırılabilir organik madde rezervidir. Etkisiz TOM ise toprağın fiziksel özelliklerini etkileyen, tepkimeye girme meyli en az olan organik maddedir (Strosser, 2010).

Organik maddenin önemli özellikleri şöyledir:

- Metal iyonları ve sulu oksitler ile suda çözünen ve suda çözünmeyen kompleksler oluşturmaktadır.
- Kil mineralleriyle etkileşime girer ve partikülleri birbirine bağlamaktadır.
- Hem doğal hem de antropojenik organik bileşiklerin tutunmasını ve ayrışmasını sağlamaktadır.
- Bitki besinlerinin emilmesini ve serbest bırakılmasını sağlamaktadır.
- Toprak ortamında suyu tutmaktadır.

Bu özelliklerin bir sonucu olarak, toplam organik karbonun belirlenmesi, herhangi bir alan karakterizasyonunun önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Çünkü varlığı veya yokluğu, kimyasalların toprakta veya sedimentte nasıl reaksiyon göstereceğini belirgin şekilde etkileyebilmektedir (Schumacher, 2002).

TOM, toprak-bitki ekosisteminin kritik bir bileşenidir. Organik maddenin tükenmesi; su tutma kapasitesinde düşüşe, yeraltı ve yüzey sularının kalitesinde düşüşe,

zayıf agregasyona, toprak erozyonunda hızlanmaya, uygulanan besin maddelerinin zayıf tutulmasına, toprak biyolojik ve enzimatik aktivitelerinde azalmaya neden olmaktadır. Bu faktörlerin kombinasyonu ise, üretimde kayba sebep olmaktadır. Bu nedenle, TOM'un tarım topraklarında bakımı ve iyileştirilmesi, toprak sürdürülebilirliği için çok önemlidir (Campbell vd., 1998; Ghani vd., 2003; Gregorich vd., 1994).

Kararsız toprak organik maddesi; toprak kalitesi ve çevre sağlığı hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlayan iyi bir gösterge, toplam organik maddeye kıyasla tarıma, gübrelemeye, aşılama, ürün rotasyonuna ve diğer müdahalelere karşı daha hassas, toprak mikroorganizmaları için enerji sağlayıcı olması sebebiyle son yıllarda yapılan çalışmalarda önem kazanmıştır (Bongiovanni ve Lobartini, 2006; Gregorich vd., 2003; Heitkamp vd., 2009; Kolář vd., 2009; Laik vd., 2009; Ussiri ve Lal, 2017).

2.2. Toprak Organik Karbonu

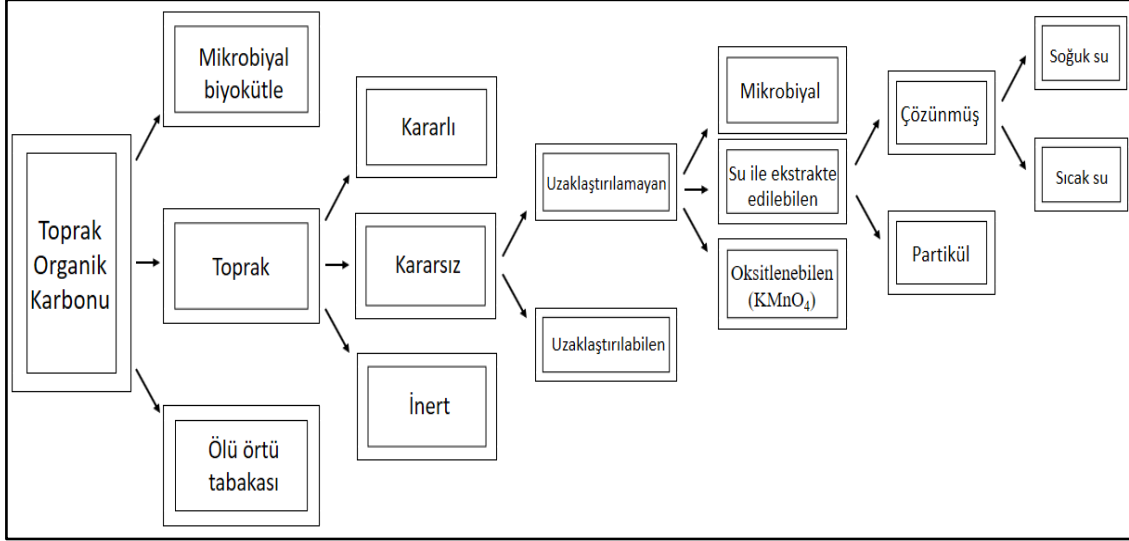
TOK'un; toprak verimliliğinin bir göstergesi, biyosferin sürdürülebilirlik ve stabilitesinin bileşenlerinden biri olduğu kabul edilmektedir (Slepetiene ve Slepetys, 2005). Toprak yaklaşık olarak 1.550 Gt ($Gt = 10^{15}$ g) TOK içerir ve bu, karasal bitki örtüsünün iki katından fazla, atmosferin iki katı kadardır (Lal, 2004). TOK'un toplam organik fraksiyonu; mikrobiyal biyokütle, ayrışma ve stabilizasyonun farklı aşamalarında bitki artıkları içeren organik bileşikler ve minerallerin bir karışımını içerir (Ćirić vd., 2016).

Genel olarak TOK, hümik maddeler ve kararsız toprak organik maddesi içermektedir. Hümik maddeler, her toprağa özgü ve onlarca yıllık toprak kullanımı üzerinde belirgin bir şekilde değişmeyen, kararlı yapıda maddelerdir. Kararsız kısım; mikroorganizma, bitki ve toprak faunası kalıntılarının farklı seviyelerde parçalanmasından ve parçalanma ürünlerinden, karbonhidratlar, polisakkaritler, proteinler, organik asitler, aminoasitler, balmumları, yağ asitleri ve diğer spesifik olmayan bileşikler gibi kolayca parçalanabilen, hümik olmayan organik maddelerden oluşmaktadır (Poirier vd., 2005; Strosser, 2010).

Dünyanın yaklaşık üçte birini kaplayan kurak ve yarı kurak bölgelerde toprak inorganik karbon (TİK) havuzu, TOK havuzundan yaklaşık 2-10 kat daha büyüktür ve TİK birikim oranı, genellikle TOK'tan daha yüksektir (Tan vd., 2014; Zhao vd., 2016). Fakat TOK, ekosistem fonksiyonunun ve sera etkisinin düzenlenmesindeki, CO₂'nin toprak adsorpsiyonunu ve toprak yoğunluğu dağılımını etkilemesindeki önemi nedeniyle

TİK depolanması ve dinamiği konusundaki çalışmalar öncelikle yerel veya bölgesel değerlendirmelere odaklı; TOK havuzlarının tahminlerine kıyasla oldukça zayıf bir şekilde belgelenmiştir (Jin vd., 2014; Tan vd., 2014; Wu vd., 2009).

TOK'u birçok alt grupta incelemek mümkündür. Şekil 2.1'de farklı TOK sınıflandırma çalışmalarının bir birleşimi verilmiştir.



Şekil 2.1. Farklı TOK sınıflandırmalarının birleşimi
(Ćirić vd., 2016; Hamkalo ve Bedernichek, 2014; Strosser, 2010; Wang vd., 2014)

TOK kalitesi ve miktarı, küresel karbon dengesinde anahtar rol oynamaktadır. Karasal ekosistemler, atmosferdeki CO₂ miktarını, atmosferik karbon birikimi ve solunum yoluyla değiştirebilmekte ve düzenleyebilmektedir. Topraktan atmosfere CO₂ akışını arttırmak, küresel iklim ısınmasını hızlandırabilmektedir ve bu akışın bir etmeninin de kararsız TOK fraksiyonları olduğu varsayılmaktadır (Ćirić vd., 2016; Zou vd., 2005). Suda çözünen organik maddeler, TOM'un en kararsız fraksiyonudur. Yüksek biyobozunur oranları dolayısıyla CO₂ üretiminde önemli bir kaynaktır ve topraktaki CO₂'nin dışarı akışını doğrudan etkilemektedir (Gregorich vd., 2003; Hamkalo ve Bedernichek, 2014; Kim vd., 2012).

Topraktaki çözülmüş organik karbon (ÇOK), 1 m derinliğe kadar, m²'de < 10-20 g C içeren, karbon havuzunun küçük ve kısmen kararsız kısmını temsil etmektedir. Toprak ÇOK'u; ayrılmış ölü örtü tabakası, mikrobiyal ara ürünler, kök eksüdatları ve yağmur suyundan türemektedir (Kiikkilä vd., 2005). Toprak çözeltisinde ÇOK; karbonhidratlar, proteinler, fenoller gibi tanımlanabilir bileşiklerin küçük bir kısmı ve

esas olarak, mikrobiyal biyokütle veya henüz ayrılmış bitki kalıntılarıyla katkıda bulunanlarla karşılaştırıldığında, toprakta bulunan nispeten büyük miktardaki humusa atfedilen hümik maddeler gibi, mikrobiyal ve kimyasal bozunma işlemleriyle değiştirilmiş olan bileşiklerden oluşmaktadır (Gregorich vd., 2003; Marschner ve Kalbitz, 2003). ÇOK, gerek toprak mikroorganizmaları için kolayca ayrıştırılabilir bir substrat olarak gerekse mineral yüzeylere adsorbe edilerek TOM'un kararlı bir bileşeni olarak görev yapabildiğinden, toprak C döngüsünde iki türlü rol oynamaktadır (Hagedorn ve Machwitz, 2007; Marschner ve Kalbitz, 2003). ÇOK mineralizasyonu; ÇOK'un farklı kimyasal bileşimi ve yapısal özellikleri, toprak mikrobiyal topluluğu, sıcaklık ve nem gibi abiyotik çevre koşulları ve toprağın fiziksel yapısı ile etkilediği ÇOK dinamiği sürecinde oldukça önemlidir (Bu vd., 2011; Kalbitz vd., 2003; Marschner ve Kalbitz, 2003).

ÇOK'un miktarı ve biyolojik yapısı, kullanılan ekstraksiyon prosedüründen etkilenmektedir. Yüksek sıcaklıklar içeren ekstraksiyon prosedürleri, oda sıcaklığında gerçekleştirilen ekstraksiyonlardan daha fazla miktarda çözünmüş organik madde ekstrakte etmektedir. Yüksek sıcaklığın organik yapıları hidrolize ettiği, hücreleri parçaladığı ve organik maddeleri inorganik kolloidlerden ayırdığı bilinmektedir (Gregorich vd., 2003; Nelson vd., 1994).

Kararsız TOK havuzları, toprak yönetim uygulamaları sonucu değişen toprak karbon birikim havuzları ve dinamikleri gibi TOK stoğundaki zamansız değişimler için değerli göstergelerdir (Haynes, 2000; Weil vd., 2003). Toprak mikrobiyal biyokütle karbonu, sıcak su ile ekstrakte edilebilen karbon ve KMnO_4 (potasyum permanganat) ile oksitlenebilir karbon; toprak kalitesinin önemli göstergesi olan kararsız TOK havuzları olarak kabul edilmektedir (Chen vd., 2009; Ghani vd., 2003). TOM'un canlı bileşeni olan mikrobiyal biyokütle karbonu; besin döngüsü ve TOM ayrışmasında ve dönüşümünde kritik rol oynamaktadır. Sıcak su ekstraksiyon yönteminin; toprak mikrobiyal biyokütlesi, kök eksüdatları ve lizatlardan kaynaklanan ÇOK'u ekstrakte ettiği düşünülmektedir (Ghani vd., 2003). KMnO_4 oksidasyonu, mikrobiyal ayrışmayı simüle etmektedir ve kararsız TOM'un, yerinde (in-situ) enzimatik ayrışmalarını kısmen yansıtmaktadır (Wang vd., 2014).

İklim gradyanları boyunca farklı arazi kullanım tiplerinde toprak karbon stokları üzerine yapılan çalışmalar, bölgesel ve küresel iklim değişikliğinin sonuçlarını tahmin etmek ve değerlendirmek için esastır. TOK temel olarak, biyotik kalıntıların ayrışmasından gelmektedir ve çevresini hızlı bir döngü ile etkileyen toprak karbon

havuzunun en aktif kısmını oluşturmaktadır. TOK dinamikleri, toprak kalitesi gelişimi ve küresel karbon döngüsü için büyük önem taşımaktadır (Han vd., 2018; Lal, 2004; Selim vd., 2016).

Değişen toprak nemi-sıcaklık etkileşimi altında, topraktaki inorganik azot havuzlarının nispi mevcudiyetindeki bir değişim, toprak organik karbon dinamiğinin doğasının belirlenmesinde önemli olabilmektedir. Bu, toprak organik karbonunun topraktaki inorganik azotun mikrobiyal immobilizasyon hızı ve/veya amonyaklaşma ve nitratlaşma işlemleri arasındaki stokiyometrik ilişkinin bir fonksiyonu olabileceği gerçeğine bağlı olabilmektedir. Hassas yarı kurak çevrelerde, toprak tahribatını azaltırken toprak bitki örtüsü ve organik maddeyi en üst düzeye çıkarmak ve böylece iklim değişikliğinin etkilerine daha dayanıklı olan iyi yapılandırılmış toprakları teşvik etmek için iklim açısından akıllı toprak yönetimi uygulamaları önerilmektedir (Zornoza ve Muñoz, 2017).

2.2.1. Su ile Ekstrakte Edilebilen Organik Karbon

SEEOK fraksiyonları, TOK konsantrasyon değişikliklerine katkıda bulunabilen, yüzey ve yeraltı suyu kalitesinin yanı sıra toprak süreçlerini güçlü bir şekilde etkileyebilen, en aktif TOK bileşikleridir (Kalbitz ve Kaiser, 2008). SEEOK olarak karakterize edilen fraksiyonlar; kompleksleştirilemeyen, kolayca mineralleşebilen, 0,45 µm'lik filtreden geçirilebilen ve temel olarak bitki kökleri, mikroorganizmalar, aminoasitler, hümik maddeler ve nadiren fenol ve lignin monomerler, proteinler ve kitin içeren karbonhidratlardan oluşmaktadır.

Büyük öneme sahip SEEOK havuzu, homojen yapıda değildir. İçerdiği organik bileşiklerin çözünürlüğü, çözücünün sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle su ile ekstrakte edilebilen organik karbon, soğuk SEEOK ve sıcak SEEOK olarak iki grupta ele alınmaktadır (Ćirić vd., 2016; Ghani vd., 2003; Hamkalo ve Bedernichek, 2014). Soğuk SEEOK; kantitatif olarak, farklı lizimetreler ve vantuzlar kullanılarak ölçülen ÇOK'a oldukça yakındır (Ostrowska vd., 2010; Rees ve Parker, 2005). SSEEOK, bitkiler ve mikroorganizmalar için besin ve enerji rezervini oluşturan daha kararlı bileşenlerden oluşmaktadır (Bu vd., 2011). Sıcak su (> 70 °C), mikroorganizmaların vejetatif hücrelerini öldürmekte ve çoğu mikrobiyal olmayan organik maddenin yanı sıra mikrobiyal biyokütleden birçok bileşeni de ekstrakte etmektedir (Hamkalo ve Bedernichek, 2014; Landgraf vd., 2006).

SEEOK ve mikroorganizmalar ile bağlantı kurabilen ve onlar tarafından absorblanabilen biyoerişilebilir karbon arasında; SEEOK'nin, biyolojik olarak kararsız TOK fraksiyonlarının iyi bir göstergesi olduğunu gösteren, oldukça önemli bir doğrusal ilişki mevcuttur. SEEOK fraksiyonları; mikrobiyal biyokütle, mineralleştirilebilen N ve agregat stabilitesi ile pozitif ilişkilidir ve bu nedenle, toprak kalitesinin entegre bir göstergesi olarak kullanılabilir (Ghani, 2003). SSEOK konsantrasyonu, toprak mikroagregat özellikleri ve makroagregat stabilitesi ile kuvvetle ilişkilidir (Ćirić vd., 2016; Ghani vd., 2002; Puget vd., 1998).

SEEOK, TOK'un sadece birkaç yüzdesini kapsamına rağmen, TOK stabilitesi ve korunmasında önemli rol oynamaktadır; yüksek derecede biyobozunurluğu, toprağın CO₂ akışını etkilediğinden, küresel karbon döngüsüne ve küresel iklim değişikliğine katkıda bulunabilmektedir (Ćirić vd., 2016; Kim vd., 2012).

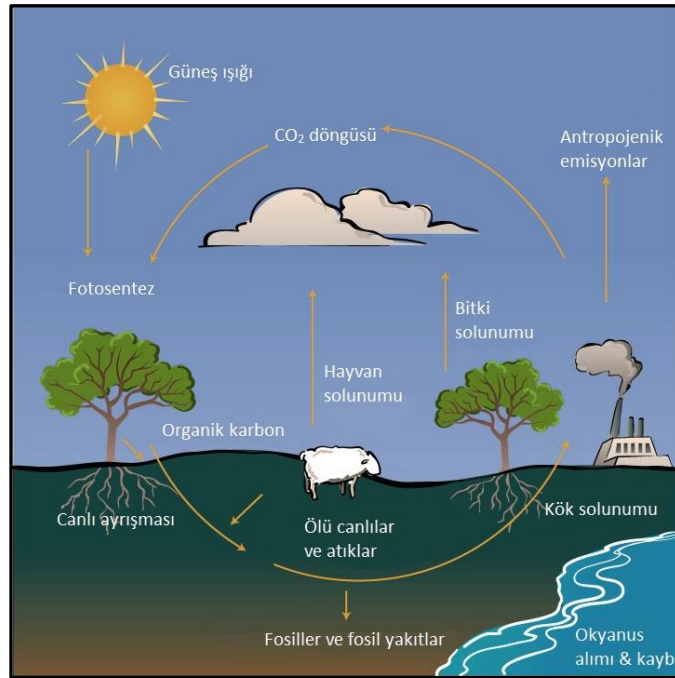
2.2.2. Karbon Döngüsü

Karbon (C); fiziksel olarak amorf, grafit ve elmas formda oluşabilen, oksidasyon durumu -4 ile +4 arasında değişen, bilinen tüm yaşam formlarında bulunan ve canlı kuru ağırlığının yaklaşık % 50'sini oluşturan temel bir elementtir. Bu nedenle organik karbon (OK) ayrışması, geçmişteki ve güncel biyosfer sağlığının tahmininde önemlidir.

Yaşam, baskın birincil enerjinin güneş ışınması olduğu biyosferde, bir enerji akışı gerektirmektedir ve bu akışı, C'nin fotosentez yoluyla döngüsü sağlamaktadır. Dünyadaki yaşam, saniyelerden (atmosferik CO₂'nin karbonhidratlara ve diğer bitki biyokütlesine fotosentez yoluyla sabitlenmesi) jeolojik ölçeklere (diyajenez işlemleriyle fosil C birikimi) kadar değişen çeşitli zaman aralıklarında atmosfer, okyanuslar, bitkiler ve hayvanlar, topraklar, kayalar ve sedimentler arasındaki çeşitli dönüşümler ve aktarımlar yoluyla C döngüsüne bağlı durumdadır.

C döngüsü; doğal ekosistemlerin, insanın ve aynı zamanda endüstriyel sistemlerin metabolizmasını da içeren, dünya etrafındaki enerji akışına benzerdir. Bitkiler güneş enerjisini, yaşamın temel sembolü olan çevresel enerjinin evrimi ve kullanımının altında yatan biyokimyasal mekanizmaların sağlandığı organik C moleküllerinde kimyasal enerjiye dönüştürmektedir. C biyosferde doğal veya insan kaynaklı olarak fiziksel, biyolojik ve kimyasal işlemlerle sürekli olarak emilmekte, salınmakta ve geri dönüştürülmektedir. Aynı zamanda C, CO₂ olarak atmosferik bir sera etkisi yaratmakta, deniz suyunda pH'ı ve birçok reaksiyonu tamponlamaktadır.

Küresel C döngüsü; fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin bir ağıyla bağlı olan C rezervlerinin içindeki ve arasındaki C değişimini ifade etmektedir. C döngüsü, bazı rezerv işlemlerine göre farklılık gösteren çok sayıda iç içe geçmiş döngüden oluşmaktadır. Biyojeokimyasal C döngüsü, biyotik ve abiyotik süreçler içermekte ve dört ana rezerv içinde ve arasında C aktarmaktadır. Bu rezervler; litosfer (katı dış kabuk), hidrosfer (su kütleleri), atmosfer, doğal ve antropojenik biyojeokimyasal süreçlerin kompleks bir kümesiyle bağlanan biyosferdir. C döngüsündeki C'nin ana kaynağı CO₂'dir ve antropojenik etkinin yokluğunda, C döngüsü genellikle kararlı halde bulunmaktadır. Rezervler arasındaki karbon değişimi, fotosentez, solunum, su-atmosfer arayüzü ve havayla aşınma yoluyla gaz değişimini içermektedir (Şekil 2.2). C döngüsü, dünya tarihinde hiçbir zaman istikrarlı olmamıştır (Ussiri ve Lal, 2017).



Şekil 2.2. C döngüsü (http-1)

Atmosferdeki başlıca C formları CO₂ ve CH₄'tür. CO₂; fotosentez, metabolizma ve organik madde ayrışmasının başlıca aracıdır, ayrışma ve karbonat (CO₃²⁻) çökelmesindeki dönüşümü ile litosferde C döngüsünün büyük bir kısmını oluşturmaktadır. CO₂ aynı zamanda, iklim değişikliğine katkıda bulunan başlıca uzun ömürlü sera gazıdır (Berner, 1998). CH₄, C döngüsünün mikrobiyal metabolizma yoluyla anaerobik tarafını temsil etmektedir; kayalar ve çökeltilerde tutulan organik maddeden salınmaktadır. Atmosferik CH₄ hem doğal (% 40) hem de antropojenik kaynaklar (% 60)

tarafından üretilmektedir. C döngüsündeki C kütlesinin transferleri, atmosferin C akışlarını birbirine bağlayan, bir temizleme istasyonu görevi gördüğü atmosfer boyunca CO₂ ile ilişkilidir (Ussiri ve Lal, 2017).

Milyonlarca yıldır CO₂, silikatlı kayalar ve sabit C'nin deniz sedimentleri içindeki deniz bitkileri tarafından gömülmesi gibi ayrışma işlemleriyle atmosferik ortamdan atılmaktadır (Berner, 1998). Daha ılıman dünya sıcaklıklarında, CO₂'nin tortul kayalarda kalsiyum karbonat (CaCO₃) olarak tutumuyla sonuçlanan veya soğuk sıcaklıklarda CO₂'nin atmosfere salınmasına neden olan kimyasal ayrışma, dünya ikliminin jeolojik zaman ölçeğinde dar bir sıcaklık aralığında kalmasını sebep olmuştur (Archer, 2010). Ancak bir kez denge bozulduğunda, dünya ikliminin doğal C döngüsü ile restore edilmesi yüz binlerce yıl alabilmektedir (Ussiri ve Lal, 2017).

Fotosentetik organizmalar atmosferden CO₂'yi almakta ve onu, hayvan ve insanların gıda, barınak ve biyosferi besleyen enerji için kullandıkları biyokütleye dönüştürmek için güneş enerjisini kullanmaktadır. Öldükleri ve ayrıştıklarında biyokütlelerinde bulunan C, toprak kalitesini ve CO₂ üretimini şartlandırmada kritik olan TOM'a dönüştürülmektedir. Doğal sistemlerden ve antropojenik faaliyetlerden kaynaklanan emisyonlar, döngüyü yenileyen karbonu atmosfere döndürmektedir. Karasal ekosistemlerin fotosentetik verimliliği; sıcaklık, yağış, atmosferik CO₂ konsantrasyonu ve bitki besinleri teminindeki değişikliklere tepki olarak değişmektedir. İklim, büyüme için daha elverişli olacak şekilde değiştiğinde, verimlilik ve atmosferden C alımı artmaktadır; bunun tam tersi de geçerlidir (Ussiri ve Lal, 2017).

C döngüsü; hayvanların beslenmesi ve metabolizmasının günlük döngüsü, bitki büyümesi ve çürümesinin mevsimsel döngüsü ve sedimentlerin gömülme ve aşınmasının jeolojik döngüsü gibi birçok süreci kapsamaktadır ve tüm bu süreçler, atmosfer ile toprak arasındaki CO₂ değiş tokuşuyla bağlantılıdır. C döngüsü tüm yaşam formlarını, inorganik ve organik C rezervlerini ve aralarındaki bağları yönetmektedir (Ussiri ve Lal, 2017).

C bütçesi, rezervler arasındaki C değişimlerinin bir karşılaştırmasıdır (belirli bir zamanda rezervler arası ne kadar girdi ve çıktı olduğuyla ilgilidir). Döngü, herhangi bir zamanda gözlenen bütçeyi belirlemektedir. Küresel C bütçesi, sanayi devriminin başlangıcından bu yana atmosferde CO₂ ve CH₄ şeklinde biriken C ile denge halinde değildir (Ussiri ve Lal, 2017). Sanayi çağının başlangıcı, ilk önce yavaş yavaş, sonra giderek daha hızlı bir şekilde ilerleyen; fosil yakıt yanması, nüfus artışı ve tarımsal

genişleme gibi küresel endüstriyel gelişme adımlarını yansıtmaktadır (Joos ve Spahni, 2008).

Küresel C döngüsü, dünya sisteminde C'nin değişim akışlarıyla bağlanan bir dizi C rezervi olarak görülmektedir. Küresel döngüde C, devir oranına göre iki şekilde ifade edilmektedir. Bunlar; atmosferi, karasal bitki örtüsünü, toprakları ve tatlı suları, okyanusu, okyanus yüzeyinde oluşan çökeltileri içeren, büyük değişim akışlarına ve hızlı bir rezerv devrine sahip hızlı devir (birkaç yıl ile bin yıllar) ve jeolojik zamanda kaya ve sedimentlerdeki büyük C havuzunu içeren yavaş devirdir (1.000.000 yıl veya daha uzun zaman). Yavaş ve hızlı devir arasındaki C değişimi; kimyasal ayrışma, erozyon ve okyanusta tortu oluşumu ile gerçekleşmektedir. Hızlı ve yavaş devir arasındaki doğal değişim akışları nispeten küçüktür ($< 0,3 \text{ Pg yr}^{-1}$) ve bu akışların, insan kaynaklı olarak değiştirilmediği sürece yüzyıllarca sabit olduğu varsayılmaktadır (Raymond ve Cole, 2003). Sanayi devriminden önce atmosferik CO_2 ve CH_4 , hızlı devirde kararlı duruma yakinken; sanayi devriminin başlangıcından bu yana büyük miktarda C, yavaş devirden hızlı devre aktarılmıştır ve küresel karbon döngüsü, eşi benzeri görülmemiş bir antropojenik bozunmaya uğramıştır.

Antropojenik etki, yavaş devirdeki büyük miktarda fosilleşmiş C kütlesini jeolojik kömür, petrol ve doğal gaz rezervlerinden aktarmakta; fosil yakıtların yanması ile CO_2 formundaki büyük C kütlelerini atmosfere (hızlı devir) göndermektedir. Karasal sistemlerde, toprak kullanımının topraklardan ve bitkilerden kaynaklanan C kaybına neden olduğu durumlarda antropojenik bir CO_2 kaynağıdır. Ormansızlaşma ve diğer arazi kullanım değişiklikleri, atmosfere C salınımını arttırmasının yanı sıra atmosferdeki CO_2 'nin bitki örtüsü tarafından alımını azaltmaktadır. Atmosfer, karasal biyosfer ve okyanus rezervleri arasındaki C akışları ve rezervlerdeki insan etkisi; her ne kadar toplam C havuzlarındaki küçük değişimlere karşılık gelse de, küresel C döngüsündeki önemli bir değişimi temsil etmektedir (Ussiri ve Lal, 2017).

İnsan varlığı, doğal bitki örtüsü alanlarını tarım, orman ve dünya topraklarını büyük ölçüde değiştiren ve büyük miktarlardaki küresel net birincil üretkenliği gıda, yakıt, giysi ve barınak üretimine yönlendiren kentleşme ile, insan kullanımına dönüştürerek süreçleri değiştirmektedir. Antropojenik faaliyetlerinin net sonucu, CO_2 'nin atmosfere salınımını arttırmaktır (Haberl vd., 2007; Ussiri ve Lal, 2017).

Gezegendeki insan etkisinin oldukça fazla olması nedeniyle dünyanın “Antroposen” olarak adlandırılan, insan faaliyetinin egemen olduğu yeni bir jeolojik çağa

girmiş olduğu öne sürülmüştür (Raupach ve Canadell, 2010). Bu çağın başlangıcına karşılık gelebilecek en sık alıntı yapılan tarihler, kömürün aşırı miktarda yakılmasıyla atmosferin kompozisyonunun büyük ölçüde değişmeye başladığı sanayi devriminin başlangıcıdır. Antropojenik etki ve eğilimler, küresel C döngüsünde ve iklim ile bağlantısında belirgindir. Dünyadaki insan faaliyetlerinden kaynaklanan diğer değişiklikler arasında biyolojik çeşitlilik kaybı ve besin döngülerinin bozulması bulunmaktadır. Atmosferik, karasal ve okyanus rezervlerinden geçen karbon, bu antropojenik emisyonların büyük bölümünü dağıtarak CO₂'yi karasal bitki biyokütlesinde, toprakta ve çözündürerek okyanuslarda tutmuştur (Ussiri ve Lal, 2017).

Atmosferdeki antropojenik CO₂ emisyonları, son 100 yıldaki iklim değişikliğine en büyük insan katkısını temsil etmektedir (Canadell vd., 2007). Karasal biyosferde karbon birikimi, atmosferik CO₂ oluşumunu hafifletmek için umut verici bir seçenek olarak kabul edilmektedir (Lal vd., 2007; Scholes ve Noble, 2001). Önceki çalışmalar, küresel toprakların karbon tutma potansiyelinin 0,4-1,2 Pg C/yıl ya da küresel fosil yakıt emisyonlarının %5-15'i olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, havuzların büyüklüğü, küresel dağılım ve topraktaki karbon akışları konusunda belirsizlikler bulunmaktadır (Houghton, 2003). Küresel iklim değişikliğini azaltmak için karasal ekosistemlerin karbon tutumu potansiyelini değerlendirmek, farklı bitki örtüsü ve ekosistem yönetimi stratejileri altında çalışan karbon havuzu büyüklükleri ve birikim mekanizmalarının kapsamlı bir şekilde anlaşılması önemlidir (Ciais vd., 2008; Huang vd., 2010; Jin vd., 2014; Pan vd., 2011).

2.3. Literatür Araştırması

Toprak, karasal biyosferin en büyük karbon rezervidir. Toprak yüzeyinin 1 metrelik kısmında yaklaşık 1.500 Pg (10¹⁵ g) TOK, 600 Pg TİK bulunmaktadır. Toprak karbon rezervi, atmosferik karbonun üç katı kadardır. Dolayısıyla toprak karbonundaki en ufak değişiklik bile atmosferik karbonu etkilemektedir (Luo vd., 2010).

Topraklarda karbon döngüsü süreçlerinin merkezi; toprak mikrobiyal popülasyonunun dinamikleri, toprak organik karbonunun ve ilgili besin maddelerinin karmaşık fiziksel ve kimyasal bileşimleri, toprak organik karbonuna yönelik çeşitli fiziksel ve kimyasal koruma dereceleri ve topraktaki besin elementleridir. Toprak koşulları, özellikle sıcaklık, nem, doku ve yapı, toprak işleme ve yetiştirme yönetimi; karbon dinamikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir (Li ve Feng, 2002).

Dick (1983, s. 102); işlemez tarım, minimum tarım ve geleneksel tarım uygulaması altındaki topraklarda pH, organik C, N ve P konsantrasyon değişimlerini 0-30 cm derinlikte incelemiştir. Çalışmada en yüksek C/N oranının, işlemez tarım uygulamasında ve derinlik arttıkça azalan eğilimde olduğu görülmüştür. Nispeten düşük C/N oranları, topraktaki organik maddenin humuslaşmaya uğradığını ve N mineralleşmesini desteklediğini göstermektedir. pH seviyeleri, işlemez tarımda en düşük düzeydedir.

Davidson ve Ackerman'ın (1993, s. 161) yapmış olduğu çalışmada, geçmiş yıllardaki çalışmaların işlenmiş ve işlenmemiş topraklara ait toprak karbonu ve toprak kütlesi verileri yeniden değerlendirilerek yorumlanmıştır. Veriler, genetik katmanlarına veya sabit derinliklerine göre örneklenmeleri dikkate alınarak iki alt kümeye ayrılmıştır. Sabit derinlikte örneklemede, toprak C kayıpları önemsiz gibi görünse de her iki alt küme, daha önceki sonuçları desteklemekte ve ekimden sonra toprak C'nin % 20-40'ının kaybolduğunu göstermektedir. Ayrıca, ilk ekimi takiben toprağın C kaybının çoğunun (bazı durumlarda iki yıl içinde) ilk birkaç yılda meydana geldiği sonucuna varılmıştır. Ekilmemiş toprakların C içeriği ile ekimi takiben kaybedilen C yüzdeleri arasında herhangi bir ilişki kurulamamıştır.

Six, Elliott ve Paustian'a (1999, s. 1350) ait çalışmada, işlemez tarım ile karşılaştırıldığında geleneksel tarımda C tutma değerinin azalmasının, agregat dönüşümündeki değişiklikler ile ilişkili olduğu hipotezi öne sürülmüş; toprağın, agregatlarla ilişkili partikül organik karbon miktarını ve türünü kuvvetle etkilediği tespit edilmiştir. Agregat içi iri partikül organik karbon (250-2.000 mm) konsantrasyonları, tarım uygulamaları arasında değişkenlik göstermezken; agregat içi ince partikül organik karbon (53-250 mm) konsantrasyonları, geleneksel tarım uygulamasında daha düşük bulunmuştur. Makro-agregatlarda ekin C oranları iki tarım uygulamasında da benzerken; mikro-agregatlarda işlemez tarım oranlarının üç kat daha fazla olduğu görülmüştür.

Şeker ve Işıldar'ın (2000, s. 71) çalışmasında tarla toprağından traktör geçişinin toprakta gözenekliliğe ve sıkışmaya etkilerini görmek amaçlanmış; bu amaç doğrultusunda 0-10, 10-20, 20-30 cm derinliklerden toprak örnekleri alınmıştır. Bu bağlamda topraktaki tarımsal faaliyetlerin (tarla trafiğı) gözeneklilik ve boşluk oranını azalttığı; sıkışma ve kütleli yoğunluğu arttırdığı kaydedilmiştir.

Chan vd. (2002, s. 133) yaptıkları çalışmalarda, partikül organik maddenin doğal meradan ekili alana dönüştürüldüğü zaman kaybolan fraksiyon olduğunu bulmuştur. Bu

nedenle potansiyel olarak POM, TOK'a göre yönetim kaynaklı değişikliklere daha duyarlı bir göstergedir. Aynı zamanda POM'nin topraktaki azot içeriğiyle yakından ilişkili olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur. Çalışmada yalnızca buğday/acı bakla rotasyonu altında dört ayrı toprak işleme/anız uygulaması ile çalışılmıştır:

- doğrudan ekilmiş ve anız koruma - DD / SR,
- doğrudan ekilmiş ve anız yakılmış - DD / SB,
- geleneksel ekim ve anız koruma - CC / SR,
- geleneksel ekim ve anız yakma - CC / SB.

Her bir noktadan ince kürek yardımıyla 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm derinliklerden alınmıştır. Ayrıca kompozit numune oluşturmak adına, 6 ayrı yerden rastgele olarak toprak örnekleri toplanmıştır. TOK değerlerinde farklı topraklar arasında önemli farklılıklar, 20 cm'de bulunmuştur ancak farklılıkların büyüklüğü derinlikle azalmıştır. 0-5 cm katmanında, hem toprak işleme hem de anız etkileri önemliken, etkileşimleri değildir. Farklı toprakların TOK seviyeleri sırasıyla DD / SR > DD / SB > CC / SR > CC / SB bulunmuştur. Özetle, karbon fraksiyonlarındaki değişiklikler, toprak yapısal stabilitesi ve azot varlığındaki değişimlerle ilişkili bulunmuştur. Toprağın 0-5 cm'lik katmanında anız yakılmasına kıyasla tarımsal ekimlerin toplam karbonu azaltmada çok daha büyük bir etkisi olmuştur.

Barzegar vd. (2002, s. 295); buğday samanı, kompostlu şeker kamışı küspesi ve çiftlik gübresinin toprak fiziksel özellikleri ve kışlık buğday verimi üzerindeki etkilerini araştırmak için bir saha çalışması yapmıştır. Düşük kütle yoğunluğu ve toprak agregat stabilitesini artırma kabiliyeti nedeniyle organik madde girdisi; düşük toprak kütle yoğunluğu, daha yüksek toprak gözenekliliği, sızma (infiltrasyon) oranı ve alan kapasitesinde toprak su içeriği ile sonuçlanmıştır.

Alagöz vd.'ye (2006, s. 245) ait bir çalışmada toprağa organik madde ilavesinin toprak özelliklerini nasıl etkilediği üzerine araştırma yapılmıştır. Toprak örnekleri 0-25 cm derinlikten alınmıştır. Sonuçlara göre düşük C/N oranı (yüksek N girdisi); yüksek pH değerlerine (daha bazik) ve yüksek elektriksel iletkenliğe sebep olmaktadır. Aynı zamanda uygulanan C/N'nin, büyük boyutlu agregatlarda daha etkili olduğu görülmüştür. Bu bağlamda C/N oranının kum içeriğiyle pozitif, kil içeriğiyle negatif ilişkisi söz konusudur.

Grandy and Robertson (2007, s. 59), hem yoğunluk hem de inkübasyon temelli ayırma yöntemleri kullanarak aynı toprak serisindeki karbon tutma potansiteli en yüksek

10 ekosistemde organik madde fraksiyonlarını belirlemiştir. Ekosistemler, 4 farklı tarımsal sistemi (geleneksel, düşük girdili, organik ve işlemez), 2 farklı çok yıllık ürün yetiştirme sistemini (yonca ve kavak), 4 farklı yerel ekosistemi (erken dönem, belirli tarihlerde sürülmüş orta dönem, hiç sürülmemiş orta dönem, geç dönemli orman) içermektedir. En yüksek C birikim oranları çok yıllık ürün sistemlerinde ve erken dönem ekosistemlerinde meydana gelmiştir. Ekosistemler genelinde, geleneksel tarımla ilgili C birikimi, ağır fraksiyonlu, yavaş devirli ve aside dayanıklı makro-agregatların 250 μ m'den daha büyük havuzlarında meydana gelmiştir. 2.000-8.000 μ m boyut aralığı, agregat tahribini takiben aktif C havuzunda en büyük artışı göstermiştir. Tüm ekosistemlerde karbon tutma, 53 μ m'den büyük agregat bağlantılı havuzlarda meydana gelmiştir. Yoğunluk temelli ayırma şeması; düşük girdili çapa ürünlerinden yonca ekosisteme kadar, en yüksek potansiyel C biriktirme oranlarına sahip olmasının yanında, özellikle makro-agregatlarda (> 250 μ m) ağır fraksiyonlu C havuzlarını tanımlamıştır. Agregat içi hafif fraksiyon havuzları daha düşük oranlarda C biriktirmiştir, fakat genel olarak agregat içi havuzlar, agregatlararası hafif fraksiyon havuzlarının hepsinden daha hızlı olduğu belirtilmiştir. Toprağı aktif, yavaş ve pasif havuzlara ayıran inkübasyon temelli yöntemler, C'nin öncelikle yavaş ve dirençli havuzlarda biriktiğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, toprak kullanım yoğunluğundaki azalmaları takiben toprak C'nin, çoğunlukla makro-agregatlarda, neredeyse tamamen toprak agregatlarında biriktiğini göstermiştir.

Tolunay (2011, s. 265), AFOLU (Agriculture, Forestry and Other Land Use) metodu ile, karbon miktarlarının belirlenmesinde kullanılan katsayıları yeniden hesaplamıştır. 2004 yılı için Türkiye ormanlarının toplam karbon stoğu, 2.251,26 Tg olarak hesaplanmıştır. Canlı biyokütledeki karbon stoğu 479,87 Tg olarak hesaplanırken, bu miktarın % 92,20'si verimli ormanlara, % 7,80'i vassını yitirmiş ormanlara ait olarak bulunmuştur. Verimli ormanlardaki karbon yoğunluğu 41,66 Mg/ha olarak hesaplanmış olup; 32,44 Mg/ha'ı yer üstü, 9,22 Mg/ha'ı yer altı biyokütleye aittir. Ormanlardaki tür gruplarına göre (iğne yapraklı, yaprak döken, çalılık) karbon yoğunluğu, en fazla yaprak döken grupta yer almaktadır. Kazanç-kayıp metoduyla yapılan hesaplara göre Türkiye ormanları 2004 yılında atmosferden 13,68 Tg/yıl karbon absorblamıştır. Bu miktarın 12,63 Tg/yıl'lık kısmı verimli ormanlara, 1,05 Tg/yıl'lık kısmı ise vassını yitirmiş ormanlara aittir. Orman alanlarının artması, akaryakıt üretiminin ve yasa dışı kesimlerin azalması, biyokütlenin karbon artışına destek olmuştur. Türkiye'de kırsal alanlardan

kentsel alanlara göçün artması, orman alanlarının arttırılmasında ve yasa dışı kesimlerin azaltılmasında oldukça etkili olmuştur. Buna ek olarak, kooperatiflerin yüksek ormanlara dönüştürülmesi, bozulmuş ormanların rehabilitasyonu ve plantasyonun artması, karbon tutulmasında artış sağlamıştır.

Weigel vd.'nin (2011, s. 210) çalışması kapsamında Güney Afrika'nın iklimi ve toprak yapısı farklı 6 ayrı bölgesinden, alan kullanımları yoğun kullanılmış (trashed), yakılmış (burnt) ve işlenmemiş (uncultivated) olan toplam 50 toprak örneği alınmıştır. 0-100, 100-200 ve 0-200 mm derinlikte çalışılmıştır. SSEEOK, TOK, toplam N, toprak tekstür, mikrobiyal biyokütle ve temel solunum analizleri yapılmıştır. Sonuçlar hem Almanya'da hem de Güney Afrika'da analizlenmiştir. Güney Afrika'daki sıcaklığın daha yüksek olmasının, TOK mineralizasyonunun artması ve kararsız fraksiyonda azalma ile sonuçlandığı yorumu yapılmıştır. TOK değerlerinin alanlara göre değişimleri yakılmış< ekilmemiş< yoğun kullanılmış şeklinde olmuştur. Mikrobiyal biyokütle ve temel solunum değişimleri ekilmemiş> yoğun kullanılmış> yakılmış şeklindedir. SSEEOK'nin kil ile ilişkili olmadığı, ancak benzer saha koşullarında TOK ile güçlü bir korelasyon gösterdiği görülmüştür. Bu, SSEEOK fraksiyonunun kararsız karbon ile daha fazla ilişkili olduğunu ve dolayısıyla arazi yönetiminden etkilenen karbon değişikliklerini yansıttığını doğrulamaktadır.

Šeremešić vd.'nin (2013, s. 1479) çalışmasında 9 ekili alan, 1 saf orman ve 2 mera toprağı üzerinde, 0-20 cm derinlikte çalışılmıştır. TOM ve SSEEOK analizi yapılmıştır. Değerler, doğal alanlarda ekili alanlardan daha yüksek bulunmuştur. Bu yüksek değerler, örnekleme dönemindeki yüksek nem içeriğine ve buna bağlı olarak yüksek mikrobiyal aktiviteye, kök aktiviteleri sonucu yeni TOM üretimine, bitki kalıntıları ile manipülasyonun SSEEOK değerlerini etkilediğine bağlanmıştır. Ayrıca gübreleme söz konusu olduğunda mineral azotun uygulanması, mikrobiyolojik aktiviteyi ve dolayısıyla kararsız organik maddenin önemli bölümünün asimilasyonunu arttırabilir. Topraktaki yüksek TOM ve SSEEOK değerleri, toprak parçacıklarının toplanması (agregat) ile de ilgilidir. Doğal orman, çayır ve kaba habitatlar, genel olarak toprakta TOM'un korunmasını sağlayan toprak agregasyonunu iyileştirebilir.

Aşkın vd.'nin (2014, s. 13) çalışmasının amacı, seçilen tarım toprağında TOK'un uzaysal değişkenliğini jeostatistiksel teknikler ile değerlendirmektir. Tarım alanı 25 x 25 m'lik ızgaralara bölünerek, 0-20 cm derinlikten, 51 adet toprak örneği alınmıştır. Hava ile kurutulan toprak örneklerinin Na ve K analizi flame fotometre ile, Ca ve Mg analizleri

EDTA titrasyonu ile, organik karbon analizi Modifiye Walkley-Black yöntemi ile, tane büyüklüğü hidrometre yöntemi ile, pH ve elektriksel iletkenlik analizleri pH-metre ve EC-metre ile, istatistiksel analizler SPSS 15.0 yazılımı ile belirlenmiştir. Toprak örneklerinin genelinde tekstür sınıfı tınlı, pH'ı nötr, ortalama % 1,15 organik karbon içeriğine ve düşük iletkenliğe sahip olduğu görülmüştür. Toprağın organik karbon içeriği Gaussian model ile izlenmiş, izotropik uzaysal bağımlılık göstermiştir. Uzaysal bağımlılığın etki mesafesi 151,04 m olarak bulunmuştur. Yine Gaussian model kullanılarak nokta kriging ile komşu olan 10 nokta baz alınmış, örnekleme yapılamayan 7875 nokta için TOK içeriği tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışma ile, toprak verimliliği ve kalitesi ile ilgili çalışmalarda kullanıcıya doğru ve kolay bilgi sağlaması açısından uzaysal analizin faydalı bir yaklaşım olduğu görülmektedir.

Tan vd.'nin (2014, s. 22) çalışmasının amacı; (I) Çin İkinci Ulusal Toprak Araştırması'ndan elde edilen, Çin Loess Platosu'ndaki 495 profil ve 2.470 toprak örneğinden oluşan 1 m'lik toprak katmanındaki TİK stoğunu ve yoğunluğunu tahmin etmek ve (II) farklı arazi kullanımları, toprak tipleri ve toprak katmanları altında TİK yoğunluğunu ve stoğunu etkileyen ana faktörleri tartışmaktır. TİK stoklarının 0-20, 20-50 ve 50-100 cm derinliklerindeki ortalama değerleri sırasıyla 2,39, 2,92 ve 4,89 Pg'dir. Farklı arazi kullanım şekillerinde ortalama TİK yoğunluğunun sırası, tüm toprak katmanlarında tarım arazileri > otlaklar > ormanlardır. Çeşitli toprak tipleri için, 0-100 cm katmanındaki TİK yoğunluğu alkali toprakta en yüksek ve Alp dağları eteklerindeki çayır toprağında en düşük; TİK stoğu, löslü topraklarda, rüzgar kumu topraklarında ve sierozemlerde en yüksek, alp dağları eteklerindeki çayırlarda ise en düşük seviyededir. Bu farklılıklar, büyük ölçüde her toprak tipinin işgal ettiği alan ve iklim koşullarının bir sonucudur. Üç toprak horizonundaki TİK yoğunluğu, artan enlem (kuzeye) ve azalan boylam ile artmıştır. Düşük enlem (güney) bölgelerinde, nispeten yüksek sıcaklık ve bol yağış karbonat sızıntısına sebep olmaktadır. Enlem arttıkça (kuzeye doğru) yağış miktarı azalır, bu nedenle yüksek enlemlerde (kuzey bölgelerinde) toprak sızıntısı ve birikmesi zayıflar ve bu bölgelerde TİK yoğunluğu artmaktadır. Çin'in kuzeyindeki çöl bölgelerindeki 0-100 cm'lik horizonun TİK ve TOK stokları sırasıyla 14,91 ve 7,84 Pg C'dir; burada TİK stoğu TOK'un 1,8 katıdır. 0-20 cm, 20-50 cm ve 50-100 cm arasındaki horizonların ayrıntılı analizi, TİK yoğunluğunun tüm toprak tipleri ve arazi kullanım şekilleri için derinlik ile arttığını, büyüklüğü ve dikey dağılımının iklim koşullarıyla ilgili olduğunu göstermiştir.

Jin vd. (2014, s. 615), doğal bitki örtüsü restorasyonu ve ağaç ekimi arasındaki TOK ve TİK sekestrasyonundaki farkı incelemek ve toprak organik ve inorganik karbon izotop yöntemini ($\delta^{13}\text{C}$) kullanarak doğal karbon döngü mekanizmasını tanımlamayı amaçlamıştır. Toprak örnekleme Mayıs ve Eylül 2013'te yapılmıştır. TOK ve TİK'in ortalama içeriğini ve dikey dağılımını elde etmek için, otlakta 14, ormanlık alanda 14 örnekleme sahası kurulmuştur. Örnekleme alanları rastgele dağlık yamaçlara dağıtılmış ve toprak numuneleri 1 m derinlikten toplanmıştır. 10 cm'lik aralıklarla her bölgeden 10 toprak örneği olacak şekilde otlaktan 140, ormanlık alandan 140 toprak örneği alınmıştır. Çok sayıda çalışma, $\delta^{13}\text{C}$ TOK değerlerinin derinlik ile ölçülmesinin TOK birikim mekanizmalarının analizinde TOK içeriğinden daha ayrıntılı bilgi sağlayabileceğini göstermiştir. Bir toprak profili için, topraktaki $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin derinlikle değişimi, temel olarak yeni karbonun da karıştığı TOK ayrışmasından etkilenmektedir. Elde edilen sonuçlar, otlakların ormanlık alandan 14,90 Mg/ha daha fazla TOK depoladığını göstermiştir. Bu sonuç, doğal olarak restore edilmiş otlakların, yüzeysel TOK tutumu için ağaç plantasyonundan daha faydalı olduğunu göstermektedir. Otlakların biyojeokimyasal özellikleri, bikarbonat oluşumu için elverişlidir. Otlaktaki TİK depolanması, ormandakinden 38,99 Mg/ha fark ile daha düşük bulunmuştur. $\delta^{13}\text{C}$ TİK değerleri, otlakların ormanlık alanlardan daha fazla ikincil karbonat ürettiğini ve TİK'in büyük olasılıkla kök ve mikrobiyal olarak salınan CO_2 'nin toprak suyunda çözünmesinden elde edilen daha fazla çözünmüş inorganik karbon (ÇİK) olarak otlaktan nehirlere taşındığını göstermiştir.

Zhao vd.'ye (2016, s. 191) ait olan bir çalışmanın amacı, bir havzadaki farklı bitki örtüsü tipleri (çim, çalı, orman) ve bitki örtüsü habitatları (gölgeli eğim ve güneşli eğim) altında TOK ve TİK'in toprak derinliği ile değişimini, dönüşümünü ve Çin Loess Platosu'nun karbon tutma potansiyelini incelemektir. Araştırma için farklı bitki örtüsü altlarından 68 toprak profili seçilmiştir: orman altından 30 toprak profili, çalı altından 13 toprak profili ve çim altından 25 toprak profili. Toprak örnekleri Temmuz 2011'de ölü örtü çıkarıldıktan sonra 10 cm aralıklarla 0-60 cm arası ve 20 cm aralıklarla 60-200 cm arası, toplanmıştır. Ölü örtü/toprak ilişkisinde organik karbonun teorik ilk birikimi, ölü örtünün C/N oranının düşmesiyle artmış ve çalı > orman > ot sıralamasını izlemiştir. Gölgeli eğimle karşılaştırıldığında, ölü örtü/toprak ilişkisinde organik karbonun düşük teorik ilk birikimi, güneşli eğim ölü örtü ayrışmasıyla nispeten küçük miktarda TOK oluşumundan kaynaklanmıştır. TİK'in 0-50 cm'deki değişim eğilimi, TOK'un tersidir.

Toprak karbonatının transferi, TİK içeriği ve toprak su içeriği arasındaki negatif korelasyon ile yansıtılan su içeriğindeki azalma ile yavaşlamıştır. Üç farklı bitki örtüsü türü arasında çalı, inorganik karbon sabitlenmesi için en avantajlı olmuştur. Çünkü ayrıştırılmış çalı altlığından salınan daha fazla kalsiyum ile çökeltiyle daha fazla CaCO_3 oluşabilmektedir ve pedojenik karbonatın çözünmesi ve çökmesi, çalı örtüsünün altındaki nispeten düşük su içeriği nedeniyle nispeten yavaştır.

Değirmenci ve Zengin'in (2016, s. 177) çalışmasında; Kastamonu'nun Daday ilçesinde 1970, 1990, 1999, 2012 yıllarına ait toprak altı ve toprak üstü karbon depolama kapasitesinin zamansal ve konumsal değişimleri, ArcGIS yazılımı yardımı ile haritalandırılmıştır. Orman ekosistemlerini izlemek için en önemli parametrelerden birinin biyokütle olduğu ve envanter verilerinin bu tarz çalışmalarda önemi vurgulanmıştır. Karbon depolama kapasitesi hesabı için birçok çalışmadan derlenen dönüşüm katsayıları kullanılmıştır. 1970 yılından itibaren sürekli artan C miktarı, son on yılda en fazla artışı göstermiştir. Bunun nedeni, ormanların verimli hale getirilmesi, göç sebebiyle orman tahriplerinin azalması ve dolayısıyla biyokütleye ve C tutumunda artış olarak açıklanmıştır. 40 yıllık süreçte $1.132,307 \text{ m}^3$ biyokütle, 870.000 ton C artışı kaydedilmiştir.

Barancıkova vd.'ye (2016, s. 10) ait bir çalışmada, ekilebilir alanların daimi otlaklara dönüştürülmesinden sonra izlenen bölgelerdeki toprak organik madde ve toplam azotun içeriği ve kalitesindeki değişiklikler sunulmuştur. Üç izleme dizisinden (1993, 1997, 2002) yararlanılmıştır. Toprak izlemenin başlangıcında (1993) tüm topraklar ekilebilir alanlar olarak kullanılmıştır. İkinci izleme dizisinde (1997), bazıları otlak alana dönüştürülmüştür. Üçüncü izleme dizisinde (2002) hepsi kalıcı otlak olarak kullanılmıştır. İzlenen tüm yerleşim yerleri de üç gruba ayrılmıştır. Birinci grup yalnızca Cambisol grubunu, ikinci grup toprak türlerinin kalanını (Luvic Stagnosols, Stagnic Regosol, Mollic Fluvisol ve Stagnic Luvisol) ve üçüncü grup tüm bölgeleri temsil etmektedir. Sonuçlar, Cambisol grubunda (grup 1), farklı toprak türlerinin bulunduğu grup 2'de ve gözlemlenen tüm bölgelerde (grup 3), ekilebilir alanların otlaklara dönüştürülmesinin TOK artışına yol açtığını göstermektedir. Genel olarak, otlak topraklarındaki yüksek bitki ve kök artıklarının girişi, üst topraktaki TOK stoğunu dengelemektedir. Yanlış toprak yönetimi, özellikle yoğun tarımsal faaliyetler ve düşük organik atık girişi, mineralizasyon süreçlerini büyük ölçüde artırabilmektedir; bu da ekilebilir arazide TOK'un azalmasına neden olmaktadır. Sonuçlara göre, toplam azot

değerleri toprak organik karbon içeriği ile yakın ilişki içindedir. Ekilebilir alanın dönüştürülmesinden sonra TOK gibi toplam N sayısında da artış gözlenmiştir. Optik indeks (Q46), hümit asit çözeltisinin absorbans oranını temsil etmektedir. Bu parametrenin yüksek değerleri, daha kararsız ve daha az olgun toprak organik maddesinin karakteristiğidir ve aksine, Q46'nın daha düşük değerleri, tipik olarak olgun ve daha humuslu toprak organik maddesinin tipik özelliğidir. Gözlenen her iki yerleşim yerinde otlak topraklarla karşılaştırılmak üzere Q46'nın ekilebilir topraklarda daha yüksek değerlerini göstermiştir (daha kararsız ve daha az olgun toprak organik maddesi).

Fissore vd.'nin (2017, s. 140) çalışmasında, bir yamaç sistemi için arazi özellikleri ile TOK'un miktarı ve spektroskopik özellikleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Batı kümesi ince killi, karışık, süperaktif, termik topraktan (Calcic Haploxerolls); kuzeydoğu ve güneydoğu kümeleri kumlu, karışık, termik topraklardan (Typic Haploxerolls) oluşmaktadır. Örnekleme sahasının deniz seviyesinden yüksekliği 284-403 m aralığındadır. Eğim, plan ve profil eğriliği ile yamaç sistemleri boyunca TOK birikiminin miktarı ve kalitesi arasında güçlü bir ilişki gözlemlenmiştir. Özellikle iç bükey profil ve plan eğriliği ile birleştirilen orta dereceli eğimler (< % 15), daha fazla TOK birikmesine yol açmıştır. SEEOK'nin ve yığın TOK'un spektroskopik analizi, aşınan eğimli malzemelerin katkısı nedeniyle, çökme alanlarında daha fazla aromatik varlığını göstermektedir. Bu çalışma, erozyonun sadece toprak stabilitesi ve kalitesinde değil, aynı zamanda özellikle son derece dik eğimlerle karakterize olan yarı kurak jeomorfik sistemlerdeki TOK dinamiklerinde de kritik bir rol oynadığını göstermektedir.

Wang vd. (2018, s. 263), çalışmalarında Çin'in kuzeydoğu kıyı bölgelerinde, TOK ve toplam azotun (TN) mekansal dağılımını tahmin etmek ve haritalamak için, güçlendirilmiş regresyon ağaçları modelini uygulamış ve TOK ve TN'nin tahmin edilen haritalarından C/N oran haritasını oluşturmuştur. Çalışmada topografya, arazi kullanımı ve uzaktan algılama indeksi ve iklim değişkenlerini içeren 12 çevresel değişken ve toplam 149 yüzey toprağı (0-20 cm) seçilmiştir. Model yaklaşık olarak TOK değişkenliğinin % 64'ünü, TN değişkenliğinin % 56'sını açıklamıştır. Topografik değişkenler TOK ve TN'nin tahmininde maksimum etkiye sahipken, bitki örtüsü ve iklim bunu takip etmiştir. C/N oranının mekânsal dağılımı, arazi kullanım tiplerine göre ormanlık alan> meyve bahçesi> ekili alan> otlak şeklindedir.

Han vd'nin (2018, s. 1) yapmış olduğu çalışmada Loess Platosu'nun doğusundan batısına doğru bir iklim geçişi boyunca yedi örnekleme bölgesi seçilmiş ve TOK ve TİK

stokları; tarlalar, otlaklar, çalılıklar ve ormanlık alanlar arasında 0-300 cm derinlikte karşılaştırılmıştır. Çalışmanın amacı; TOK ve TİK stoklarındaki ekim alanlarında 300 cm derinliğe ve bir çökelme gradyanı boyunca üç bitki örtüsü restorasyon tipindeki değışiklikleri araştırmak, bitki örtüsü restorasyonundan sonra TOK ve TİK stoklarındaki değışiklikleri ve farklı derinlikteki etkileşimlerini tespit etmek ve hem sığ hem de derin toprak tabakalarında TOK ve TİK stoklarını kontrol eden faktörleri tanımlamaktır. Her bir örnekleme sahasında, toprak numuneleri için her bir standın merkezinde tekrarlanarak üç arazi (otlaklar için 1 m x 1 m, çalılıklar için 5 m x 5 m ve ormanlık alanlar için 10 m x10 m) oluşturulmuştur. Her arsada her 20 cm'den (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-100 cm, 100-200 cm, 200-300 cm) toprak örnekleri toplanarak karıştırılmış ve altı tabakalı toprak numunesi oluşturulmuştur. Sonuçlar, TOK ve TİK'in 100-300 cm katmanlarındaki stokların, 0-300 cm profilindeki toplam değeri % 50'sinden fazlasını oluşturduğunu göstermiştir. 0-300 cm profillerdeki toplam TOK stoğ u, ormanlık alan dışındaki tüm bitki örtüsü tiplerinde yağış gradyanı boyunca önemli ölçüde artmıştır. Toplam TİK stoğ u azalmıştır ancak değışiklik önemli düzeyde olmadığından, yağış gradyanı boyunca toplam karbon stoklarında çok az farklılığ a neden olmuştur.

Özdemir vd.'nin (2018, s. 46) alışmasında toprak özelliklerinin kütle yoğunluğ u değeriyle ilişkisini belirlemek ve bu ilişkiler ışığında kütle yoğunluğ u değeri model çalışması ile tahmini amaçlanmıştır. 0-20 cm derinlikten toplamda 78 adet toprak örneğ i alınmıştır. Kütle yoğunluğ u değeri kum ile pozitif, kil ile negatif ilişkisi görölmüştür.

3. FARKLI ALAN KULLANIMLARI

Farklı alan kullanımı yönetim uygulamaları; bitki toprağının verimliliğinde, mikrobiyal topluluk özelliklerinde ve derin toprak karbon stoklarındaki değişikliklerle yakından ilişkili toprak fizikokimyasal özelliklerinde farklılıklara neden olabilmektedir (Han vd., 2018; Mabuhay vd., 2006; Wang vd., 2016; Wu vd., 2017). Her toprak; bitki örtüsü, yağış ve sıcaklığın doğasına bağlı olarak bir C taşıma kapasitesine sahiptir (Gupta ve Rao, 1994). TOM'un birikmesi, toprağın geçmişte aldığı bitki, hayvan ve mikrobiyal girdi miktarının ve biyokütle girdisinin azaldığı oranın bir fonksiyonudur. C döngüsündeki bozulma oranı; toprağa geri dönen bitki artıklarının miktarı ve kalitesi, toprak tipi, özellikle mevcut kil minerallerinin türü ve miktarı ve toprak yönetimi ile ilgilidir (Cheshire ve Chapman, 1996; Enriquez vd., 1993; Herman vd., 1977; Oades, 1988). Araştırmalar, ekilmiş arazi kullanımı ile toprak C tükenme sürecinin, mera kullanımı veya ağaçlandırma arazisi kullanımıyla tersine çevrilebileceğini belirtmiştir. Bu bağlamda, farklı arazi kullanım yönetiminin TOM içeriği ve bileşimi üzerindeki etkisinin anlaşılması, toprakların atmosferik CO₂ için uygun bir yönetim ile hızlıca yutak olabilmesi açısından son derece önemlidir (Guo ve Gifford, 2002; Murty vd., 2002).

Arazi kullanımındaki değişiklikler, toplam toprak organik karbon stoğundaki değişimler anlamına gelmektedir. Farklı arazi kullanım seçeneklerinde C'nin denge dinamikleri; toprağa geri dönen bitki artıklarının, ölü örtü C içeriğinin, çözünebilen ve çözünmeyen C bileşenlerinin miktarının, C bileşenlerinin mineralleşme oranlarının, yer üstü ve yeraltı girdilerinin ve toprak agregat bozunma derecesinin bir fonksiyonudur (Martens vd., 2004; Post, 2000). Doğal topraklar tarım alanlarına dönüştürüldüklerinde, kolayca ve hızlı bir şekilde organik karbon kaybetmektedir veya bunun tam tersi de geçerlidir (ekilebilir alanların sürekli otlaklara, çimenliklere, tarımsal ormancılığa dönüşmesi gibi). Toprak işlemenin (meraların ekilebilir alana dönüştürülmesinin) toplam dengede 50 Pg'a kadar önemli organik karbon kayıplarına neden olduğu tahmin edilmektedir; buna karşılık arazi kullanımı değişikliği, atmosferik karbonun topraklarda tutulması için bir fırsat da sunabilmektedir (Barančíková vd., 2016; Janzen, 2006).

Küresel ısınmanın toprak üzerindeki etkisi, toprağın yerküre ve çevre arasındaki etkileşimi nedeniyle oldukça hızlıdır. Toprak sıcaklığı ile birlikte kuraklık, toprakta yoğun bir organik karbon kaybına neden olmaktadır. Toprak ve atmosfer arasındaki CO₂ akışı, değişimlere oldukça duyarlı olan ve topraktaki antropojenik etkiyi yansıtan SSEEOK fraksiyonlarına ve arazi kullanım değişimlerine şiddetle bağlı olan kesintisiz

bir süreçtir (Ćirić vd., 2016). Arazi kullanımı değişiminin ya da yönetim uygulamalarının TOM içeriğindeki değişime etkisini görme ve çevresel performans izleme bakış açısından, bir göstergenin kullanımı için bir ölçümün kısa süreli duyarlılığı istenmektedir (Bolinder vd., 1999; McGill vd., 1986;). Yapılan çalışmalarda toprak mikrobiyal biyokütlesinin toprak yönetiminde kısa vadeli değişikliklere duyarlı olduğu gösterilmiştir. Bununla birlikte, toprak mikrobiyal biyokütlenin belirlenmesi, zaman alan bir süreçtir; çoğu durumda, toprak mikrobiyal biyokütlesi tarlada, nemli koşullarda ölçülmeli veya belirli bir nem ve sıcaklıkta sabit bir süre boyunca önceden inkübe edilmelidir. Yapılan çalışmalara göre SSEEOK havuzu, mikrobiyal biyokütle karbonu ile iyi ilişki kurmaktadır. Topraktaki SSEEOK içeriğinin CO₂ değişimi ile güçlü bir şekilde ilişkili olması, SSEEOK oranının mikrobiyal kullanım için kullanışlı olduğunu göstermektedir. SSEEOK ayrıca toprak makroagregatları ile yakından ilişkilidir ve bu nedenle toprak-bitki ekosistemlerindeki toprak kalite göstergelerinden biri olarak kullanılabilir (Ghani vd., 2003).

TOK, toprak verimliliği ve üretkenliğinin önemli bir göstergesi olduğundan, sürdürülebilir tarım sistemleri için geliştirilmesi gerekmektedir (Gregorich vd., 1994). Birçok çalışma, bölgesel iklim, toprak tipi, kalıntı yönetim uygulaması ve ürün rotasyonuna bağlı olarak çeşitli toprak işleme sistemlerinin TOK üzerinde farklı etkileri olduğunu göstermiştir (Wang vd., 2014). Bitki örtüsü ve toprak yönetim uygulamaları değiştiğinde TOK içeriğindeki değişimin yönünü ve oranını belirleyen birçok faktör ve süreç mevcuttur. TOK depolamasını arttırabilecek birkaç yol şu şekildedir:

- Organik madde girdisini arttırmak,
- Özellikle hafif fraksiyonlu organik karbonu arttıran organik madde girdilerinin ayrıştırılabilirliğini değiştirmek,
- Organik maddeyi, doğrudan toprak altı girdileri arttırarak ya da dolaylı olarak toprak organizmaları ile yüzey karışımını arttırarak daha derine yerleştirmek,
- Fiziksel korumayı, agregat içi veya organomineral kompleksleri aracılığıyla arttırmak.

Bu süreçleri destekleyen koşullar genellikle toprakların ekili kullanımından kalıcı çok yıllık bitki örtüsüne dönüştürüldüğünde ortaya çıkmaktadır (Post, 2000). Yüksek TOK seviyelerinin, ekinlere besin temininin geliştirilmesine bağlı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, TOK'un tarımsal topraklarda artışı, sadece toprak kalitesini geliştirmekle kalmayıp aynı zamanda ürün verimliliğini arttırabilmektedir (Lal, 2004; Wang vd., 2014).

Topraklara inorganik ve organik değişikliklerin eklenmesi, toprak karbonu ve azot içeriğini arttırmak için sıklıkla kullanılmıştır. Organik girdiler uygulandığında, muhtemelen mikrobiyal popülasyonların aktivasyonundan dolayı, toprak organik karbon içeriği, sulanan arazilerde yağmurla beslenen arazilere kıyasla azalabilmektedir. Tropikal bir iklimde, toprağa organik girdilerin eklenmesinin, diğer tür gübrelerin azlığı ve organik atıkların bolluğundan dolayı, toprak karbon tutumu ve toprak kalitesini arttırmada en iyi yönetim uygulamalarından biri olduğu düşünölmektedir. Bu nedenle organik atıkların seğimi, toprak organik karbonunu arttırarak toprakları etkin bir şekilde yönetmek için toprağın bileşimine ve özelliklerine dayanarak yapılmalıdır. Topraęa kirletici maddeler sağlamaması şartıyla atık su çamurunun eklenmesi, nitrat olarak azot sızıntısı meydana gelse de, tarımda mineral gübrelerin kısmen artan verim ve mahsul kalitesi ile değişmesine neden olabilmektedir (Zornoza ve Muńoz, 2017).

Tarımsal yönetim ile toprağın başlangıçtaki organik C kaybının büyük bir kısmı; mahsul kalıntısı girdilerinin azalması, mahsul kalıntısının artan mineralleşme oranları ve TOK için fiziksel koruma miktarını azaltan toprak işleme etkilerine bağlanabilmektedir (Davidson ve Ackerman, 1993). Terk edilmiş tarım alanlarının ağaçlandırılması, toprak organik maddesini arttırmak için etkili bir farklı alan kullanımı olabilmektedir. Bununla birlikte, yarı kurak koşullar altında, korumalı tarımın benimsenmesinden dolayı toprak organik maddesindeki artış, iklimsel kısıtlamalar nedeniyle sınırlıdır. Ayrıca, toprak kullanım tipine göre toprak organik karbonu oldukça kararlı olabileceğinden, Akdeniz kurak alanlarında toprak organik karbon değişimleri üzerinde küçük bir etkiye sahip olabileceği görölmüştür. Ürün artıklarının ihracatıyla ilişkili geleneksel toprak işleme; toprak organik madde içeriğini, besin düzeylerini ve solucan topluluklarını olumsuz yönde etkilemektedir (Zornoza ve Muńoz, 2017).

Tuzlu topraklar gibi son derece karbon tüketen bölgeler, uygun ağaç ve ot türlerinin yağmur suyunu korumak için uygun toprak koruma önlemleriyle birlikte yetiştirilmesi durumunda bitki örtüsü ve toprakta karbon birikmesi için nispeten yüksek bir potansiyele sahiptir (Gupta ve Rao, 1994). Karbon sekestrasyonu, yalnızca toprağa giren karbon miktarını arttırmakla kalmayıp, aynı zamanda ayrışma veya erozyon yoluyla ayrılan miktardaki azalmayı da sağlamaktadır. Örneğin; arazi tesviyesi, alçı uygulamasıyla alkali toprakların ıslahı, sulama, ekim, dayanıklı çok amaçlı ağaç türlerinin ekilmesi, gübreleme, tuzlu toprakların drenajı vb. bitki örtüsünün hızlı bir şekilde geri

kazanılmasına ve toprak karbonunun artmasına neden olabilmektedir (Gupta ve Rao, 1994; Singh vd., 1988; Yadav ve Singh, 1970).

Tropikal bir iklimde, ekosistemlerdeki karbon esas olarak yeraltında depolanmaktadır. Toprak organik karbonu, toplam karbon stoğuna en büyük katkıyı sağlamaktadır ve bunu yerüstü biyokütle izlemektedir. Tropikal turba alanlarıyla ilgili olarak, toprak organik karbonunun ve azotun ıslak mevsimde kurak mevsime kıyasla önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Bu durum, turba oksidasyonu nedeniyle çok miktarda toprak karbonunun kaybolduğunu ve turbaların bir karbon yutağından çok, bir karbon kaynağı haline geldiğini belirtmektedir. Sonuç olarak, sera gazı emisyonlarının olumsuz etkilerini azaltmak için turba alanlarının tropik bölgelerde kurutulmasından kaçınılmalıdır.

Toprak organik maddesini arttırma mekanizmaları ve stratejileri ile ilgili olarak yeşil çatılar; kentsel ısı adası etkisini azaltarak ve karbon tutumunu teşvik ederek yeşil şehirler için umut verici bir yaklaşım olarak kabul edilmiştir. Ayrıca, substrat kompozisyonu ve derinliği, seçilen bitki türleri ile birlikte, yeşil çatılarda karbon ve azot sekestrasyonunu arttırmada kritik faktörlerdir. Maden sonrası kullanılan bölgelerin rehabilitasyonu, toprak organik maddesini arttırmak için uygun bir seçenektir. Maden sonrası kullanılan topraklardaki toprak karbon birikim oranları, yeniden bitkilendirilmiş tarımsal topraklar için tipik oranlardan daha yüksektir; bununla birlikte, C sekestrasyon oranı, artan saha yaşı ile birlikte azalmaktadır. Ortalama olarak toprak karbon depolaması, iğne yapraklı ormanlarda, otlaklardan veya yaprak döken ormanlardan önemli ölçüde daha düşüktür. Karbon tutumu oranı saha sıcaklığına otlak alanlarda pozitif ve kozalaklı ağaçlarda negatif olarak yanıt vermektedir. Ek olarak, topraktaki kalsiyum karbonat, temelde mikrobiyal bozunmayı engelleyen kimyasal bağlar nedeniyle organik madde için dengeleyici bir madde olarak işlev görebilmektedir. Bu işlem kalkerli topraklarda toprakta karbon tutumunun artmasına yardımcı olmaktadır.

Ormanların kesilip tarım alanı olarak kullanılmasının, organik maddenin hızlı mikrobiyolojik ayrışmasından dolayı, CO₂ emisyon artışını takip edeceğinin farkına varılmalıdır. Karbonu tükenmiş topraklarda ağaçlandırma ve karbonun geri kazandırılması; toprak erozyonunu azaltmak, toprak verimliliğini korumak, ekolojik rehabilitasyon gibi nedenler de eklendiğinde, acil bir önceliğe sahip olmalıdır. Restorasyon sonrası sadece devamlılığı sağlamak değil, aynı zamanda toprak karbon havuzunu uygun yönetim stratejileri ile genişletmek de aynı derecede önemlidir.

3.1. Sera Gazı Emisyonları

Toprak karbon stokları; arazi kullanım türlerinden, toprak özelliklerinden, mikrobiyal aktivitelerden ve doğal düzensizliklerden etkilenen ve özellikle iklim değişkenleriyle ilişkilendirilen karbon girdi ve çıktı dengesine bağlı durumdadır (Arevalo vd., 2009; Halvorson vd., 2002). Ayrıca, toprak karbon havuzundaki değişiklikler, atmosferik sera gazı konsantrasyonlarını ve küresel iklim koşullarını etkileyebilmektedir (Díaz-Hernández, 2010; Han, 2018; Jeong vd., 2013; Lal, 2004).

Model çalışmaları, hiçbir döngünün toprak organik karbonunu tutamayacağını, CO₂ emisyonlarının iklim değişikliğiyle artacağını ve N₂O (azot oksit) emisyonlarının önemli ölçüde değişmeyeceğini; toprağa mahsul kalıntısı eklendiğinde toprak organik karbonunun ılıman iklim alanlarında uzun vadede korunabileceğini göstermektedir.

Arazi kullanımı ve yönetim uygulamaları, sera gazı emisyonlarını etkilemektedir ve bu nedenle iklim değişikliğine katkıda bulunmaktadır. Sistematik çiftçilik, uzun vadede işlemsiz tarımdan daha düşük CO₂ emisyonlarına neden olabilmektedir. Bununla birlikte, çiftçilikten kaynaklanan toprak bozulmasından hemen sonra CO₂ emisyonlarında ani bir sinyal oluşabilmektedir ve bu durum, çiftçiliğin toprak CO₂ emisyonları üzerinde geçici ancak önemli bir etkisi olabileceğini göstermektedir. Tarım ve otlakların ormansızlaştırılması, emisyonların ana faktörü olmuştur. Bu nedenle, üretim ortamındaki değişiklikleri ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için üretim; tüketim düzenindeki değişikliklerle birleştirilmelidir (Zornoza ve Muñoz, 2017).

CO₂ ve CH₄, en önemli sera gazlarıdır. Bu sera gazları, atmosferin ışımsal özellikleri üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Atmosferik CO₂ ve CH₄ konsantrasyonlarındaki artışın bir sonucu olarak, dünya genelinde ortalama birleşik arazi ve okyanus yüzey sıcaklığı artmıştır (IPCC, 2014; Ussiri ve Lal, 2017). Atmosferik CO₂ ve CH₄ konsantrasyonlarındaki artışın, dünya yüzeyinin ve atmosferinin ısı ve su dengelerini değiştirerek küresel iklimde önemli ısınma ve diğer değişikliklere neden olması, gelecek tahminindeki iklim endişeleri arttırmıştır. Geniş fiziksel kanıtlar, su buharı yoğunlaşp mevcut sıcaklıktaki atmosferden yağdığından, CO₂ ve CH₄'ün dünya atmosferindeki iklim ile ilgili en önemli sera gazları olduğunu göstermektedir (Ussiri ve Lal, 2017).

CH₄, ölü hayvan ve bitki kalıntılarının anaerobik ortamda ayrışmasıyla oluşmaktadır. Mikroorganizmalar organik bileşikler daha basit yapıları bileşiklere (CO₂, asetik asit, uçucu yağ asitleri) hidrolize etmekte, basit yapıları bileşiklerden asetik asit

oluşturulmakta, asetik asitin parçalanmasıyla ve CO₂'nin hidrojen ile birleşmesiyle CH₄ oluşumu gerçekleşmektedir (İlkılıç ve Deviren, 2011).

Atmosferdeki antropojenik CO₂'nin en önemli üç kaynağı: (i) fosil yakıtların (kömür, petrol ve doğal gaz) yanması, (ii) arazi kullanım değişikliği (doğal orman ve otlakların tarım arazisine dönüştürülmesi), (iii) çimento üretimi ve diğer endüstriyel işlemlerdir. El Nino Güney Salınımı Endeksi'ndeki (ENSO) doğal değişimler, yıllar arası değişikliklerin ana nedenidir (Bastos vd., 2013; Ussiri ve Lal, 2017). Benzer şekilde, fosil yakıtların çıkarılması ve işlenmesi sırasında salınan, doğal gaz çıkarımı ve dağıtımından sızan, atık depolama, pirinç ve hayvancılık üretimini genişleten biyolojik kaynakları içeren CH₄ emisyonu da konsantrasyonda benzer bir sabit artış göstermiştir (Ciais vd., 2013). Atmosferik CH₄, %40 doğal ve %60 antropojenik kaynaklardan üretilmektedir.

Sanayi çağının başlangıcı, ilk önce yavaş yavaş, sonra giderek daha hızlı ilerleyen; fosil yakıt yanması, nüfus artışı ve tarımsal genişleme gibi küresel endüstriyel gelişme adımlarını yansıtmaktadır (Etheridge vd., 1996; Joos ve Spahni, 2008; Ussiri ve Lal, 2017). Atmosferik CO₂ konsantrasyonu, 1957'den bu yana doğrudan yüksek hassasiyetle ölçülmektedir ve günümüze kadar artan eğilimin devam ettiğini göstermektedir. Artış ilk olarak ormansızlaşma ve diğer arazi kullanım değişikliği ve yönetim faaliyetlerinden C'nin atmosfere antropojenik salınımından kaynaklanmıştır. Birçok kanıt, atmosferik CO₂ konsantrasyonunun son zamanlarda da devam eden artışının, özellikle fosil yakıtların yanmasına bağlı antropojenik CO₂ emisyonlarından kaynaklandığını doğrulamıştır: (i) atmosferik O₂, yanma işlemi O₂'yi tükettiği için, CO₂'nin fosil yakıt emisyonları ile karşılaştırılabilir bir oranda düşmekte, (ii) fosil yakıtların karakteristik izotopik imzaları (¹⁴C eksikliği ve ¹³C'nin tükenmiş içeriği) atmosferde iz bırakmakta, (iii) gözlemlenen CO₂ konsantrasyonundaki artış, benzer şekilde artan fosil yakıt yanma modelleriyle bölgesel dağılım göstermektedir.

Atmosferik CO₂, fosil yakıt emisyonlarının yarısından biraz daha az artmaktadır, ancak yayılan CO₂'nin geri kalanı ya deniz suyunda çözülmekte ve derin okyanusa karışmakta ya da karasal ekosistemler tarafından fotosentezle aşırı birincil üretim yapılarak tutulmaktadır. Okyanus ve kara ekosistemi tarafından tutulan atmosferik CO₂ emisyonu, atmosferdeki CO₂ ve O₂ içeriğindeki değişimlerden hesaplanabilmektedir, çünkü CO₂ değişiminin karasal süreçleri O₂ değişimini içerir fakat okyanusta çözünme olmamaktadır (Ussiri ve Lal, 2017).

Antropojenik CO₂ emisyonunun etkilerinden bir diğeri, pH'daki sürekli düşüş ve okyanusun karbonat doygunluk durumundaki azalma anlamına gelen okyanus asitlenmesidir (Caldeira ve Wickett, 2003). Geçtiğimiz 200 yıl boyunca okyanuslar, dünyadaki okyanus asiditesinde % 30'luk bir artışa neden olmuş, pH seviyelerinin 0,1 birim düşüşüne neden olan atmosferik CO₂ emisyonlarının % 40'ını bünyesine almıştır (Johnson ve White, 2014). Bu alım, atmosferik CO₂ konsantrasyonundaki artışı önemli ölçüde yavaşlatmasının yanında, deniz yaşamı için potansiyel olumsuz sonuçlar ile okyanus kimyasını da değiştirmiştir (Ussiri ve Lal, 2017; Zeebe vd., 2008). Okyanus kimyasındaki değişikliklerle ilgili diğer faktörler; metal biyoyararlılığını değiştirebilecek özelliklerin etkileri, amonyak oksidasyon oranlarını etkileyen düşük NH₃/NH₄ oranları, N döngüsü, aktif atmosferik eser gazların deniz kaynakları, azalan okyanus döngüsü, artan sıcaklıklar ve eriyen buzların bir sonucu olarak deniz seviyesinin yükselmesi şeklinde sayılabilmektedir (Beman vd., 2011; Millero vd., 2009; Tyrrell, 2011; Ussiri ve Lal, 2017).

Karasal ekosistemler, CO₂ gübrelemesine bir tepki olarak, 1990'dan bu yana artmış olan yıllık antropojenik CO₂ emisyonlarının % 20-30'unu emmektedir. Kanıtlar, antropojenik CO₂ emisyonlarının bir sonucu olarak, yüksek atmosferik CO₂'nin CO₂ gübreleme etkisine, yani atmosferik CO₂ konsantrasyonunun artmasıyla birlikte fotosentezde bir artışa neden olduğunu göstermektedir (De Kauwe vd., 2013; Ussiri ve Lal, 2017; Zak vd., 2011).

CO₂ emisyonlarının tahmini, iklim değişikliğinin ve okyanus kimyası değişiminin devam eden etkileri, tipik olarak yüzyıl zaman ölçeğine odaklanmıştır. En önemlisi, 2100 yılına kadar jeolojik ve biyojeokimyasal açıdan bakıldığında, antropojenik faaliyetlerle salınan CO₂, daha önemsiz olmasa da eşit derecede uzun vadeli sonuçlara sahiptir (IPCC, 2014). Örneğin, antropojenik CO₂ emisyonlarının büyük bir kısmı havada uzun süre kalmaktadır. Antropojenik CO₂'nin dörtte biri, birkaç yüzyıl boyunca havada kalacaktır (Kharecha ve Hansen, 2008). Bu da, antropojenik emisyon belirli bir konsantrasyonda sabitlense de, C döngüsü yeni bir dengeye uyum sağlayana dek, iklim değişikliğinin birkaç yüzyıl boyunca devam edeceği anlamına gelmektedir. Yani fosil yakıtın yanması tamamen kontrol edilirse iklim ve jeokimyasal geri kazanım, biyolojik çeşitlilik ve ekosistem çalışması açısından, milyonlarca yıl alabilir (Alroy, 2008). Dünya sisteminin karmaşıklığı, özellikle fiziksel geri bildirimlerin katkısını içeren, dünya sisteminin gelecekteki tepkilerinin tahminini ve iklim tahminini zorlaştırmıştır (Ussiri ve Lal, 2017).

Atmosferik CO₂ stabilizasyonu, net emisyon seviyesinin düşmesini ve nihayetinde atmosfere eklenen CO₂ oranının doğal sistemlerin bunları kaldırabileceği hıza eşit olduğu, sıfıra yakın bir yere düşmesini gerektirir (yani, antropojenik CO₂ emisyonları doğal yutak kapasitesi ile dengelenir). Mevcut sera gazı yükü hem yaşamımızda hem de dünyadaki enerji dengesi olarak gelecek nesiller için daha sıcak bir geleceğe yol açacak ve artan sera gazı konsantrasyonları ile yeni bir dengeye yavaş yavaş uyum sağlayacaktır. Antropojenik faaliyetler, çoğunlukla fosil yakıt yanması, orman tahribi ve tarımsal faaliyetler öncelikli olarak mevcut sera gazı yükünden sorumludur. Arazi kullanım değişikliği ve fosil yakıtların CO₂ salınımindan kaynaklanan küresel C döngüsü ve iklim bozulmalarının yüz binlerce yılı geleceğe taşıdığı konusunda güçlü bir fikir birliği bulunmaktadır. Modelleme çalışmaları, her ne kadar atmosferik CO₂ ömrü nispeten kısa olsa da (yaklaşık 100 yıl), şimdi atmosfere salınan CO₂'nin % 20-35'inin 2-20 bin yıldan sonra atmosferde olacağını ortaya koymaktadır. Bu nedenle, tüm pratik amaçlar için, fosil yakıtlar ve arazi kullanımı değişikliği CO₂ emisyonları geri dönüşümsüz olarak değerlendirilmelidir çünkü sonuçta ortaya çıkan sabit atmosferik CO₂, emisyonlar ve giderimler dengesinden ziyade, önceki yüzyıllardaki toplam biriken emisyonlar tarafından belirlenecektir (Allen vd., 2009; Mackey vd., 2013; Ussiri ve Lal, 2017).

Birçok ülke, iklim değişikliği risklerini, etkilerini ve zararlarını azaltma çabalarına yol gösterici bir ilke olarak, sanayi öncesi seviyeye göre 2 °C veya altında bir küresel ısınma sıcaklık artış sınırı benimsemiştir (IPCC, 2014). CO₂ emisyonları ve iklim değişikliği arasındaki bağlantının temel anlayışı, 1992'de UNFCCC'nin (United Nations Framework Convention on Climate Change) oluşturulmasına yatırım yapılmasına yol açmıştır ve küresel iklimin insan eylemlerine karşı hassasiyetinin uluslararası olarak tanındığını göstermiştir. Birleşmiş Milletler tarafından bilimsel bilgilerin sentezlenmesi için bir araç olarak kurulan IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), iklim değişikliğinin bilimsel temeli hakkında 5 kapsamlı değerlendirme yayınlamıştır. Ayrıca ICSU (International Council for Science), küresel C bütçesine ayrılmış birkaç proje düzenlemiştir (Ussiri ve Lal, 2017).

4. MATERYAL & METOT

Bu bölümde tezin çalışma alanı, toprakların alınması ve ön işlemleri, toprağın fiziksel özellikleri ve yapılan analizler anlatılmaktadır.

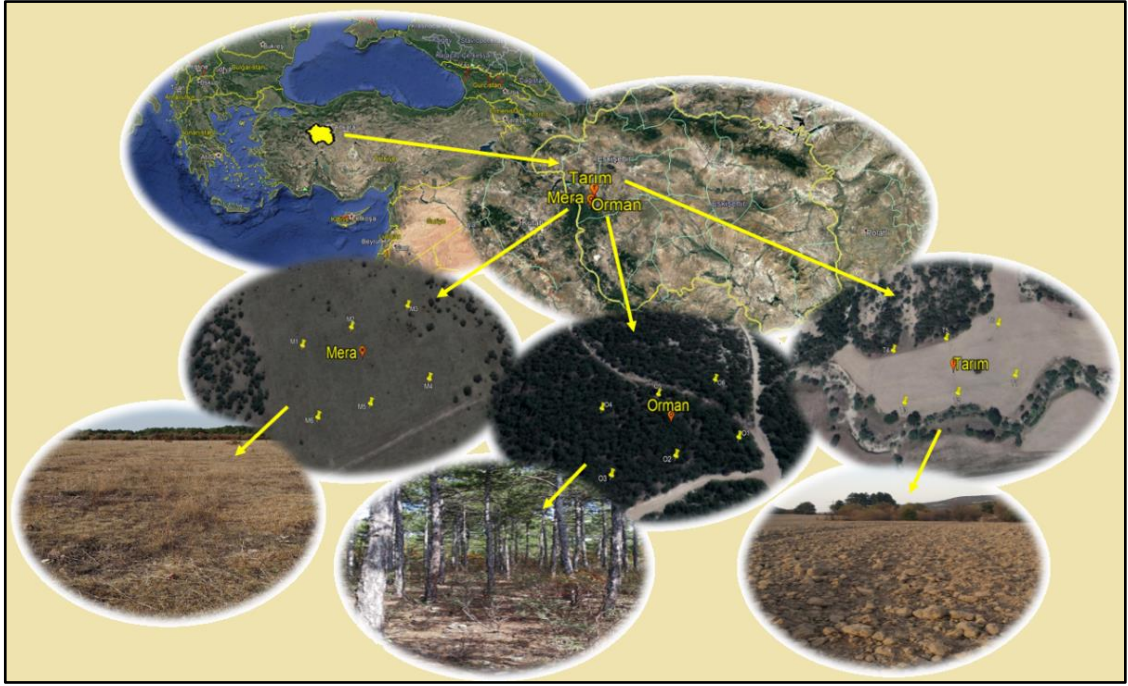
4.1. Çalışma Alanı

Eskişehir ili, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nin kuzeybatısında yer alır ve yaklaşık 13.925 km²'lik bir alana sahiptir. İl merkezinde denizden yükseklik 792 m'dir. Toprak örneklerinin alındığı 2018 yılına ait Eskişehir ortalama sıcaklık değeri 10,9 °C, ortalama yağış miktarı 394,8 mm'dir. Eskişehir iklimi, İç Anadolu, Batı Karadeniz, Akdeniz ve kısmen Ege iklimlerinin etki alanı içinde, kendine özgü bir iklimdir. Toplamda 1.392.500 hektarlık alanın % 23,80'i (325.851 ha) çayır ve mera, % 42'si (573.639 ha) tarım ve % 29,45'i (410.057 ha) orman arazisi olarak kullanılmaktadır. Eskişehir ilinde 8 adet toprak grubu tespit edilmiştir. Bunların % 44,8'i kahverengi topraklar, % 26,36'sı kahverengi orman toprakları ve % 12,70'i kalkersiz kahverengi orman topraklarıdır (Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Eskişehir İl Müdürlüğü, 2016).

16.10.2018 tarihinde, Eskişehir il merkezine yaklaşık 47 km uzaklıkta bulunan Yukarıkalabak mahallesi mera ve orman toprakları ile yaklaşık 38 km uzaklıkta bulunan Lütüfiye mahallesi tarım topraklarından toprak örnekleri alınmıştır (Şekil 4.1). Bu bölgenin seçiminde, bölgenin mera, tarım ve orman topraklarını bir arada bünyesinde barındırması ve dolayısıyla alınacak toprakların yaklaşık olarak aynı yükseklikte, aynı meteorolojik koşullarda, aynı iklimde ve aynı topoğrafyada olması etkili olmuştur. Çalışma alanı olarak seçilen bölgeye ait konum bilgileri, Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Çalışma alanının konumları

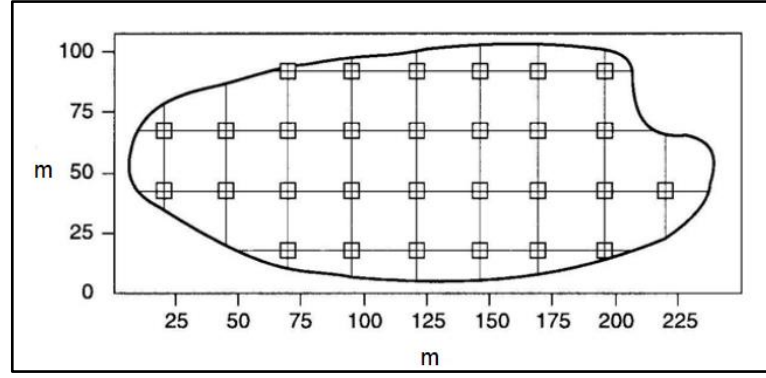
Alan kullanımı	Mevkii	Koordinatlar	Rakım (m)
Mera	Yukarıkalabak mah.	39°31'28" K 30°24'54" D	1077
Tarım	Lütüfiye mah.	39°34'20" K 30°25'12" D	905
Orman	Yukarıkalabak mah.	39°31'03" K 30°24'36" D	1100



Şekil 4.1. Örneklemeye yer konumları ve örneklemeye için seçilen mera, tarım ve orman alanlarının genel görünüşleri

4.2. Örneklerin Alınması ve Toprak Ön İşlemleri

Toprak örneklemesinde temsili örneklemenin amacı, bir numune veya grup numunesinin alan koşullarını yeterince yansıtmalarını sağlamaktır. Saha koşullarının doğru bir biçimde karakterize edilebilmesi için uygun bir örnekleme yaklaşımı seçmek önemlidir. EPA (Environmental Protection Agency) temsili toprak örnekleme yaklaşımları incelenerek en uygun örnekleme noktalarını seçmek hedeflenmiştir ve sistematik ızgara örnekleme yapılmaya karar verilmiştir (Şekil 4.2). Sistematik ızgara örnekleme, ilgili alanın bir kare veya üçgen ızgara kullanılarak daha küçük örnekleme alanlarına bölünmesini içerir. Örnekler daha sonra ızgara çizgilerinin veya düğümlerin kesişim noktalarından toplanmaktadır. Düğümler arasındaki mesafe, ilgili alanın büyüklüğüne ve toplanacak örnek sayısına bağlıdır (Proce, 1997).



Şekil 4.2. Sistematik ızgara örnekleme örneği (Proce, 1997)

Toprak örneği; çukur, tümsek, dere kenarı, yol kenarı, yerleşim yeri yakını, fazla çığnenmiş bölge, hayvansal faaliyetin olduğu (karınca yuvası, dışkı, vb.) yerlerden alınmamalıdır. Örnekleme alanının homojenliğine göre 1 ha (100 m x 100 m) için 1 örnekleme noktası yeterlidir. Toprağın rengi, alanın taşlılık durumu, bitki örtüsü, yükselti, vb. gibi etkenler göz önünde bulundurularak örnekleme yapılmalıdır. Toprak rutubetinin orta derecede olması, hem örneklemenin hem de laboratuvar çalışmasının daha kolay ve sağlıklı olmasını sağlamaktadır. Donmuş topraklar, örnekleme için uygun değildir. Örnek eğer tabakalara bölünerek analiz edilecekse (0-10, 10-20, vs.), her bir tabakadan yaklaşık 1 kg örnek alınmalıdır (Orman Genel Müdürlüğü Eskişehir Orman Toprak ve Ekolojik Araştırmaları Enstitüsü, 2014).

Örnekleme, her bir alan (tarım, mera ve orman) için 5000 m²'lik (50 m x 100 m) çalışma sahası oluşturularak her alandan 6 karot olacak şekilde toplam 18 karot ve her bir karot 5'er cm aralıklara bölünerek 0-30 cm derinlikten toprak örnekleri alınmıştır. Böylece 3 alan için toplam 108 adet toprak örneği elde edilmiştir (Görsel 4.1, Görsel 4.2). Mera alanının otlak olarak kullanılmadığı, tarım alanının bir önceki dönem ekin türünün buğday olduğu ve örnekleme döneminde nadas sürecinde olduğu bilinmektedir. Alanlarda eşit şartların sağlanması ve yalnızca toprak kısmının incelenebilmesi adına orman toprağının ölü örtü tabakası, örneklemeye dahil edilmemiştir.

Şekil 2.1'de verilen TOK sınıflandırması dikkate alındığında, çalışma 'yalnızca toprak' kısmını içeriyor gibi görünse de aslında 'mikrobiyal biyokütle + toprak' kısmını içermektedir. Çalışmanın ekstraksiyon analizlerinde kullanılan sıcak su (> 70 °C), mikroorganizmaların vejetatif hücrelerini öldürmekte ve çoğu mikrobiyal olmayan organik maddenin yanısıra mikrobiyal biyokütleden birçok bileşeni de ekstrakte etmektedir (Hamkalo ve Bedernichek, 2014; Landgraf vd., 2006). Fakat mikrobiyal kısım

ayrı olarak hesaplanmadığından, elde edilen veriler ‘yalnızca toprak’ kısmına ait gibi değerlendirilmiştir.



Görsel 4.1. Toprak örneklerinin alınması



Görsel 4.2. Topraktan karot çıkarılması

Alınan toprak örnekleri, Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Toprak Analiz Laboratuvarı’na getirilmiştir. Islak topraklar ile yığın yoğunluğu ve nem içeriği analizleri tamamlandıktan sonra, 3-4 gün süreyle topraklar hava ile kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan topraklar önce 2 mm elekten geçirilerek partikül boyut analizi tamamlanmış; sonra öğütücüden geçirilerek 500 μ m boyutunda ve diğer analizlere hazır hale getirilmiştir (Görsel 4.3).



Görsel 4.3. Toprak ön işlemleri (kurutma, eleme, öğütme)

Çalışmaya ait tüm analizler, her bir toprak örneği için 2 tekrarlı olarak yapılmıştır.

4.3. Toprak Fiziksel Özellikleri

Toprak fiziksel özellikleri (yığın yoğunluğu, nem içeriği, partikül boyutu), bu başlık altında ayrı olarak ele alınmıştır.

4.3.1. Yığın Yoğunluğu ve Nem İçeriği

-Islak toprak örneği, boşluk kalmayacak biçimde hacmi bilinen küçük şişeye doldurulur ve tartılır.

-Etüvde (Nüve FN 055) 105 °C’de 24 saat kurutulan toprak örneği tekrar tartılır (Görsel 4.4).

-Aşağıdaki formüller kullanılarak yığın yoğunluğu ve nem içeriği hesaplanır.

$$\% \text{ Nem içeriği} = \frac{m1-m2}{m2} \times 100 \quad (4.1)$$

$$\text{Yığın yoğunluğu} = \frac{m2}{V} \quad (4.2)$$

Burada; m1 ıslak toprağın ağırlığı (g), m2 kuru toprağın ağırlığı (g), V şişe hacmidir (cm³).



Görsel 4.4. Yığın yoğunluğu ve nem içeriği analizi

4.3.2. Partikül Boyut Analizi

-Hava ile kurutulmuş toprak örneği 2 mm boyutuna getirilir.

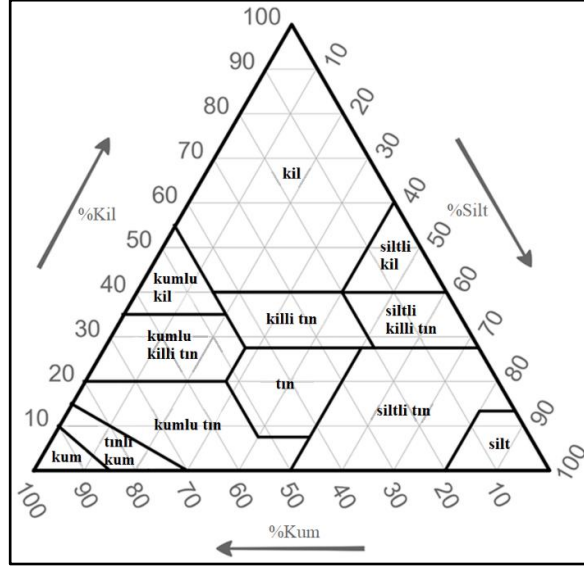
-2 mm-500 μm boyut aralığı için elek analizi, 500 μm ve daha düşük boyut aralığı için partikül boyut analiz cihazı (Malvern Mastersizer 3000) kullanılarak analizler gerçekleştirilir (Görsel 4.5).

-Elek analiziyle kaba kum yüzdesi ve Malvern Mastersizer 3000 cihazıyla kil, silt ve kum içeriklerinin yüzdeleri elde edilir.



Görsel 4.5. Partikül boyut analizi

-Partikül boyut dağılımları yüzdeleri kullanılarak toprak tekstür üçgeninde tekstür sınıfı belirlenir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Toprak tekstür üçgeni

4.4. pH ve Elektriksel İletkenlik Analizi

-Hava ile kurutulmuş toprak örneği, 500 μ m boyutuna getirilmiş toprak ile 1:5 oranında (toprak:saf su) bir karışım hazırlanır.

-200 rpm'e ayarlanan çalkalayıcıda çalkalama yapılır.

-pH-metre/EC-metre (Orion Star A329) ile pH ve elektriksel iletkenlik okuması yapılır (Görsel 4.6).



Görsel 4.6. pH ve elektriksel iletkenlik analizi

4.5. Kızdırma Kaybı Analizi

-Hava ile kurutulmuş ve 500 µm boyutuna getirilmiş toprak örneğinden porselen krozeyle alınarak tartım yapılır.

-Toprak örneği etüvde (Nüve FN 055) 105 °C’de gece boyunca kurutulur ve tartılır.

-Kül fırınında (Protherm) 550 °C’de 2 saat yakma yapıldıktan sonra tekrar tartım yapılır (Görsel 4.7).

-Aşağıdaki formül kullanılarak % OM değeri hesaplanır.

$$\% OM = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (4.3)$$

Burada; m₁ 105 °C’de kurutulmuş toprağın ağırlığı (g), m₂ 550 °C’de yakılmış toprağın ağırlığıdır (g).



Görsel 4.7. Kızdırma kaybı analizi

4.6. Toplam Organik Karbon (Modifiye Walkley-Black) Analizi

-Hava ile kurutulmuş ve 500 µm boyutuna getirilmiş toprak örneği, 105 °C’de 2 sa bekletilir ve desikatörde soğutulur.

-Erlene alınan toprağa 10 mL K₂Cr₂O₇ ve 20 mL H₂SO₄ (% 96) eklenir, çeker ocakta soğutulur.

-Üzerine saf su eklenerek karıştırılır.

-10 mL H₃PO₄ (%85), 0,2 g NaF ve ferroin indikatörü eklenir, karıştırılır.

-Bürete 0,5 N FeSO₄.7H₂O alınarak titrasyon yapılır.

-Harcanan FeSO₄.7H₂O hacmi kaydedilir.

-Aynı işlemler toprak kullanılmadan kör çözelti ile tekrarlanır (Görsel 4.8).

-Aşağıdaki formül kullanılarak % TOK değeri hesaplanır (Karaöz, 1989).

$$\% TOK = \frac{\left[10 - \left(s \left(\frac{10}{B}\right)\right)\right](3,9)(100)}{m} \quad (4.4)$$

Burada; S titrasyonda örnek için harcanan FeSO_4 hacmi (mL), B titrasyonda kör için harcanan FeSO_4 hacmi (mL), m toprağın ağırlığıdır (mg).



Görsel 4.8. Toplam organik karbon analizi

4.7. Su ile Ekstrakte Edilebilen Organik Karbon (SEEOK) Analizleri

-Soğuk su ve sıcak su ile ekstrakte edilebilen organik karbon analizinden elde edilen verilerin toplamı alınır.

$$SEEOK = \text{Soğuk SEEOK} + \text{Sıcak SEEOK} \quad (4.5)$$

4.7.1. Soğuk Su ile Ekstrakte Edilebilen Organik Karbon

- Hava ile kurutulmuş ve 500 μm boyutuna getirilmiş toprak örneği ile 1:10 oranında (toprak:saf su) karışım hazırlanır.

-Karışım 250 rpm'de çalkalanır (Heidolph Unimax 2010), ardından 4.000 rpm'de santrifülenir (Hettich Universal 320R).

-Süpernatant, 0,45 μm 'lik gözenek çaplı naylon şırınga filtreden geçirilir.

-Ekstraksiyonu tamamlanan numune, Shimadzu-Vcph 3000 TOC Analyzer cihazında analizlenir.

4.7.2. Sıcak Su ile Ekstrakte Edilebilen Organik Karbon

-Soğuk SEEOK analizinde kullanılan erlenin dibindeki toprak tortusu üzerine saf su eklenerek tekrar 1:10 oranında (toprak:saf su) karışım oluşturulur.

-Karışım gece boyunca su banyosunda 80 °C’de bekletilir.

-Karışım 250 rpm’de çalkalanır (Heidolph Unimax 2010), ardından 4.000 rpm’de santrifülenir (Hettich Universal 320R).

-Süpernatant, 0,45 µm’lik gözenek çaplı naylon şırınga filtreden geçirilir.

-Ekstraksiyonu tamamlanan numune, Shimadzu-Vcph 3000 TOC Analyzer cihazında analizlenir (Görsel 4.9).



Görsel 4.9. Su ile ekstrakte edilebilen organik karbon analizi

4.8. Küresel Isınma Potansiyeli

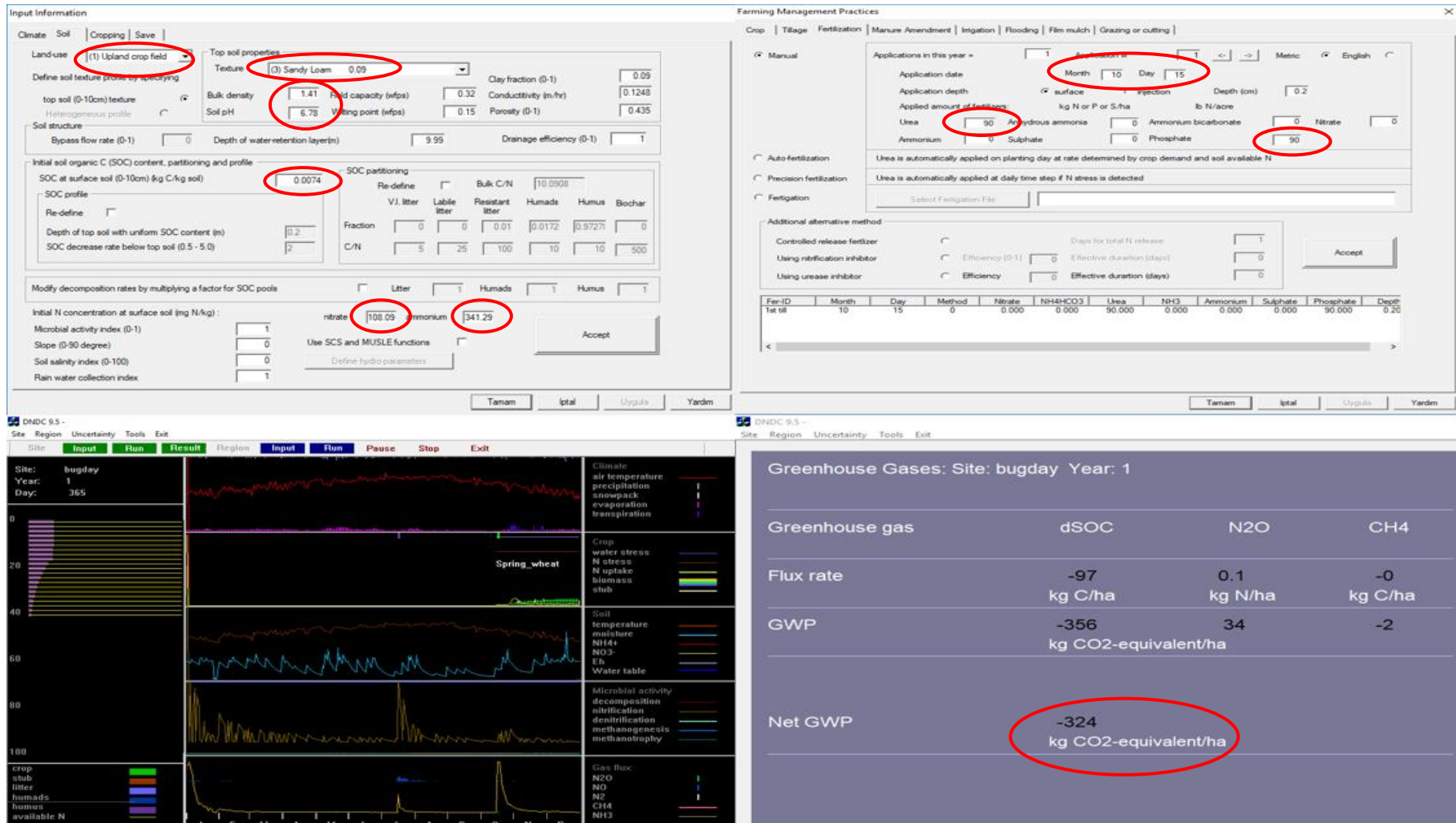
Analiz verileri, alan kullanımı bilgileri ve meteorolojik veriler kullanılarak DNDC (v9.5) modelinde mera ve tarım alanları için 1 yılı temsil eden 0-10 cm derinlikteki tahmini küresel ısınma potansiyeli değerleri elde edilmiştir.

DNDC (Denitrification-Decomposition), tarımsal ekosistemlerde karbon ve azot biyojeokimyasını simüle eden bir bilgisayar modelidir. Model; mahsulün büyümesini, toprak sıcaklığını ve nem rejimlerini, toprak karbon dinamiklerini, azot sızıntısını ve N₂O, CH₄, CO₂ gibi eser gazlar içeren emisyonları tahmin etmek için kullanılmaktadır.

İlk olarak örnekleme yapılan alana ait meteorolojik verileri barındıran bir iklim dosyası hazırlanmıştır. Bu dosyanın akabinde gerekli girdiler, analizler sonucunda elde edilen veriler ile yapılmıştır. Toprak örneklerinin alındığı dönemde tarım toprağı nadas döneminde olduğundan, tarım için hem ‘nadas’ hem de ‘buğday ekili dönem’ olmak üzere 2 farklı senaryo oluşturulmuştur. DNDC modelinde kullanılan girdiler, Tablo 4.2’de, ekran görüntüleri Görsel 4.10’da verilmiştir.

Tablo 4.2. DNDC modelinde kullanılan girdiler

	Mera	Nadas	Buğday
Enlem	39,3	39,3	39,3
Alan kullanımı	Mera	Tarım	Tarım
Tekstür sınıfı	Kumlu tın	Kumlu tın	Kumlu tın
Yığın yoğunluğu (g cm⁻³)	1,39	1,41	1,41
pH	6,46	6,78	6,78
Yüzey TOK (kg kg⁻¹)	0,0341	0,0074	0,0074
Mevcut NO₃ (mg kg⁻¹)	134,3	108,09	108,09
Mevcut NH₄ (mg kg⁻¹)	315,87	341,29	341,29
Ekin türü	Çok yıllık çim	Nadas	Buğday
Ekim tarihi	-	-	15 Ekim
Hasat tarihi	-	-	15 Temmuz
Organik C (kg ha⁻¹)	47.420	10.480	10.480
Organik N (kg ha⁻¹)	3098	947,9	947,9
NO₃ (kg ha⁻¹)	187,8	155,7	155,7
NH₄ (kg ha⁻¹)	438	481,2	481,2
Toprak sürme metodu	Sürme yok (0 cm)	Sürme yok (0 cm)	Pullukla sürme (20 cm)
Toprak sürme tarihi	-	-	15 Temmuz
Gübre türü	-	-	Üre/Fosfat
Gübre miktarı (kg ha⁻¹)	-	-	90/90
Gübreleme tarihi	-	-	15 Ekim



Görsel 4.10. DNDC modeline ait ekran görüntüleri

4.9. İstatistiksel Değerlendirme

Tüm parametrelerin istatistiksel açıdan değerlendirilmesi için, IBM SPSS (v22.0) yazılımı kullanılmıştır. Verilere ait en büyük, en küçük ve ortalama değerlerin belirlenmesi; tanımlayıcı istatistiksel analiz ile yapılmıştır. Analiz verilerinin çoğu normal dağılım göstermemektedir. Bu nedenle normal dağılım göstermeyen veriler logaritmik ölçeğe dönüştürülerek her bir alan için ayrı ayrı ve tüm veriler için genel bir tablo olacak şekilde Pearson korelasyon katsayıları hesaplanmıştır.

5. BULGULAR

Yukarıkalabak mahallesi mera ve orman toprakları ile Lütfiye mahallesi tarım topraklarından alınan toprak örneklerine ait parametrelerin (yığın yoğunluğu, nem içeriği, pH, elektriksel iletkenlik, toplam organik karbon, C/N oranı, SEEOK, SSEEOK, OM-beklenen, OM-ölçülen, kil içeriği, silt içeriği, kum içeriği) derinliğe bağlı değişimleri ve birbirleriyle olan ilişkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca elde edilen veriler ile her bir alan için C stoğu hesaplanmış; Eskişehir iline ait C stoklarının farklı alan kullanımlarındaki dağılımı gösterilmiştir. DNDC (v9.5) modeli ile de farklı alan kullanımlarına ait C dinamiği ve küresel ısınma potansiyeli için tahmin yapılmıştır.

Tüm analizlere ait en küçük, en büyük ve ortalama değerler, Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. Tüm analizlerin en küçük, en büyük ve ortalama değerleri

	N	En küçük	En büyük	Ortalama
Yığın yoğunluğu (g cm⁻³)	216	1,14	1,68	1,39
% Nem içeriği	216	3,33	28,97	8,45
pH	216	5,96	6,97	6,58
Elektriksel iletkenlik (μS cm⁻¹)	216	21,30	165,90	54,23
Toplam organik karbon (g kg⁻¹)	216	2,87	77,25	16,59
C/N	216	3,07	40,37	13,25
SEEOK (g kg⁻¹)	216	0,00	1,75	0,37
SSEEOK (g kg⁻¹)	216	0,06	2,68	0,36
% OM (beklenen)	216	0,52	3,97	1,05
% OM (ölçülen)	216	0,49	13,29	2,85
% Kil içeriği	216	2,61	17,50	11,55
% Silt içeriği	216	8,69	25,31	16,09
% Kum içeriği	216	70,92	75,03	72,36

5.1. Toprak Fiziksel Özellikleri

Toprak fiziksel özellikleri (yığın yoğunluğu, nem içeriği, partikül boyutu), bu başlık altında ayrı olarak yorumlanmıştır.

5.1.1. Yığın Yoğunluğu ve Nem İçeriği

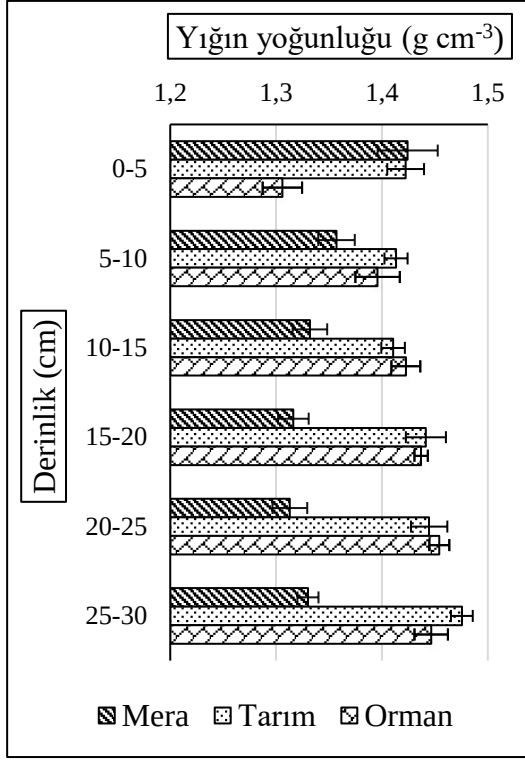
Mera, tarım ve orman alanlarına ait yığın yoğunluğu değerlerinin derinliğe bağlı değişimleri Şekil 5.1’de, ortalama değerlerinin alansal değişimleri Şekil 5.2’de verilmiştir. Yığın yoğunluğu değerleri, mera alanında 25 cm derinliğe kadar azalmış, sonrasında hafif bir artış görülmüştür. Tarım alanında 15 cm derinliğe kadar hafif azalma

görülse de genel bir artış mevcuttur. Orman alanında ise 25 cm derinliğe kadar artmış, sonrasında hafif azalmıştır. Ortalama değerlerin alansal dağılımı tarım> orman> mera şeklinde olmuştur.

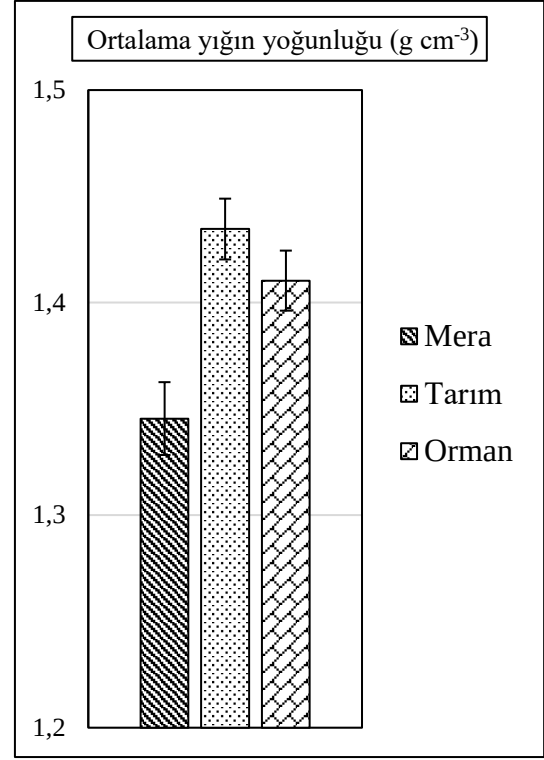
Topraktaki sıkışma oranlarının da tarım> orman> mera şeklinde olduğu ve tarım makinalarının topraktaki trafiği sonucunda tarım alanlarında sıkışmanın ve dolayısıyla yığın yoğunluğunun arttığı söylenebilir (Şeker ve Işıldar, 2000).

Topraktaki TOK değişimine bağlı olarak yığın yoğunluğu değerlerinin negatif yönde değişimi görülmektedir ($R = -0,453$, $p < 0,01$). Bu bağlamda tarım alanındaki düşük TOK değerleri ve yüksek yığın yoğunluğu değerleri açıklanabilmektedir. Düşük kütle yoğunluğu ve toprak agregat stabilitesini arttırma kabiliyeti nedeniyle organik madde girdisi; düşük toprak kütle yoğunluğu, daha yüksek toprak gözenekliliği, sızma (infiltrasyon) oranı ve alan kapasitesinde toprak su içeriği ile sonuçlanmaktadır (Barzegar vd., 2002). Bu bağlamda yığın yoğunluğu değerleri ile nem içeriği değerleri de negatif ilişkili bulunmuştur ($R = -0,444$, $p < 0,01$).

Yığın yoğunluğu değerleri kil içeriğiyle negatif ($R = -0,486$, $p < 0,01$), kum içeriğiyle pozitif ($R = 0,485$, $p < 0,01$) korelasyon yapmıştır (Özdemir vd., 2018). Tüm sonuçlar literatür ile uyum içersindedir.



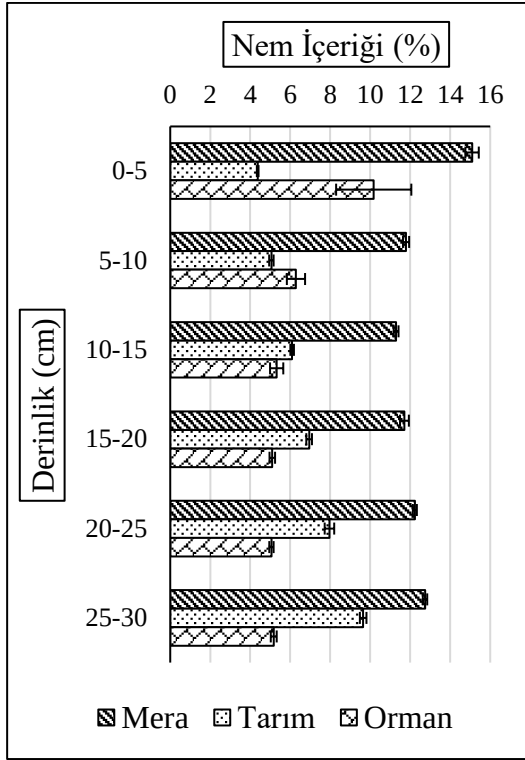
Şekil 5.1. Alanların derinliğe bağlı yığın yoğunluğu



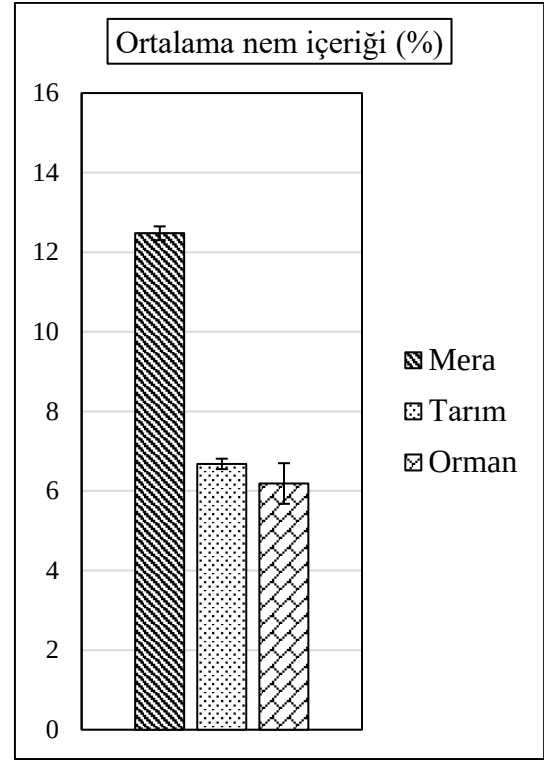
Şekil 5.2. Alanların ortalama yığın yoğunluğu

Nem içeriği değerlerinin derinliğe bağlı değişimleri Şekil 5.3'te, ortalama değerlerinin alansal değişimleri Şekil 5.4'te verilmiştir. Nem içeriği değerleri, mera ve orman alanlarında 10 cm derinliğe kadar azalmış, sonrasında büyük bir değişim görülmemiştir; tarım alanında derinlik arttıkça artış söz konusudur. Ortalama değerlerin alansal dağılımı mera> tarım> orman şeklindedir.

Mera ve orman alanlarında infiltrasyonun normal düzeyde olduğu, tarım alanında daha yüksek infiltrasyon olduğu görülmektedir. Yığın yoğunluğu ile nem içeriği değerleri arasında negatif ilişkili bulunmuştur ($R = -0,444$, $p < 0,01$). Toprağa organik madde girdisi; düşük toprak kütle yoğunluğu ve alan kapasitesinde yüksek toprak su içeriği ile sonuçlanmaktadır (Barzegar vd., 2002). Bu bağlamda mera alanındaki düşük yığın yoğunluğu ve yüksek nem içeriği açıklanabilmektedir. Sonuçlar literatürle uyumludur.



Şekil 5.3. Alanların derinliğe bağlı nem içeriği



Şekil 5.4. Alanların ortalama nem içeriği

5.1.2. Partikül Boyut Dağılımı

Alanların partikül boyut dağılımlarının derinlikle değişimi ve tekstür sınıfları, Tablo 5.2’de verildiği gibidir.

Tablo 5.2. Alanların partikül boyut dağılımları ve tekstür sınıfları

Alan kullanımı	Derinlik (cm)	% Kil	% Silt	% Kum	Tekstür sınıfı
Mera	0-5	15,61	12,57	71,81	Kumlu tın
	5-10	8,37	20,20	71,43	
	10-15	11,08	17,54	71,37	
	15-20	11,72	17,07	71,22	
	20-25	14,26	14,70	71,04	
	25-30	16,90	12,18	70,92	
Tarım	0-5	2,61	25,31	72,08	Kumlu tın
	5-10	3,64	24,12	72,24	
	10-15	7,82	19,98	72,20	
	15-20	8,76	19,22	72,03	
	20-25	8,20	20,05	71,75	
	25-30	8,24	19,84	71,93	
Orman	0-5	13,15	12,39	74,47	Kumlu tın
	5-10	13,88	11,09	75,03	
	10-15	14,71	11,70	73,59	
	15-20	14,31	14,05	71,65	
	20-25	17,14	8,98	73,88	
	25-30	17,50	8,69	73,82	

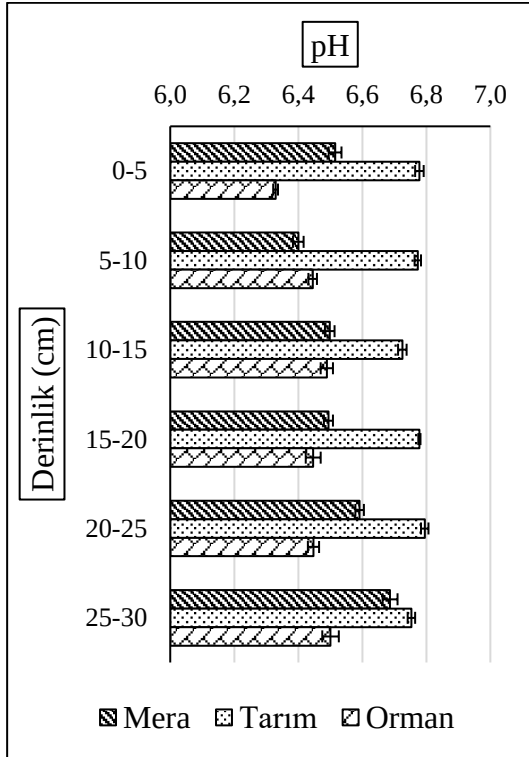
Yığın yoğunluğu değerleri kil içeriğiyle negatif ($R = -0,486$, $p < 0,01$), kum içeriğiyle pozitif ($R = 0,485$, $p < 0,01$) korelasyon yapmıştır (Özdemir vd., 2018).

C/N oranının kum içeriğiyle pozitif ($R = 0,505$, $p < 0,01$), kil içeriğiyle negatif ($R = -0,519$, $p < 0,01$) ilişkisi söz konusudur (Alagöz vd., 2006). Sonuçlar literatürdeki sonuçlar ile uyumludur.

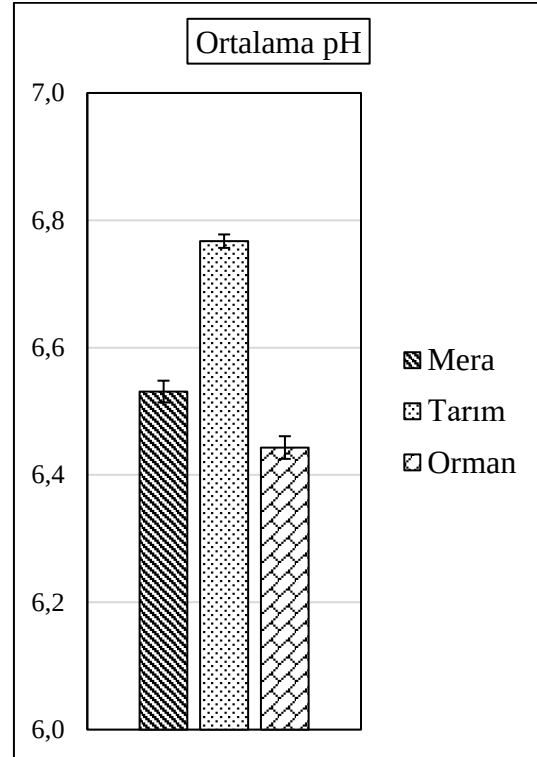
5.2. pH ve Elektriksel İletkenlik

Mera, tarım ve orman alanlarına ait pH değerlerinin derinliğe bağlı değişimleri Şekil 5.5'te, ortalama değerlerinin alansal değişimleri Şekil 5.6'da verilmiştir. pH değerleri, mera alanında 10 cm derinliğe kadar azalmış, sonrasında artmıştır; tarım alanında büyük bir değişim görülmemiştir ve orman alanında 15 cm'ye kadar artmış, sonrasında büyük bir değişim olmamıştır. Ortalama değerlerin alansal dağılımı tarım> mera> orman şeklinde olmuştur.

Düşük C/N değerleri, yüksek pH değerlerine sebep olmaktadır (Alagöz vd., 2006). Bu bağlamda tarım alanındaki düşük C/N değerleri ve yüksek pH değerleri açıklanabilmektedir ($R = -0,614$, $p < 0,01$). pH değerleri, işlenmeyen topraklarda daha düşük seviyelerde kaydedilmiştir (Dick, 1983). Sonuçlar literatürle uyum içerisindedir.



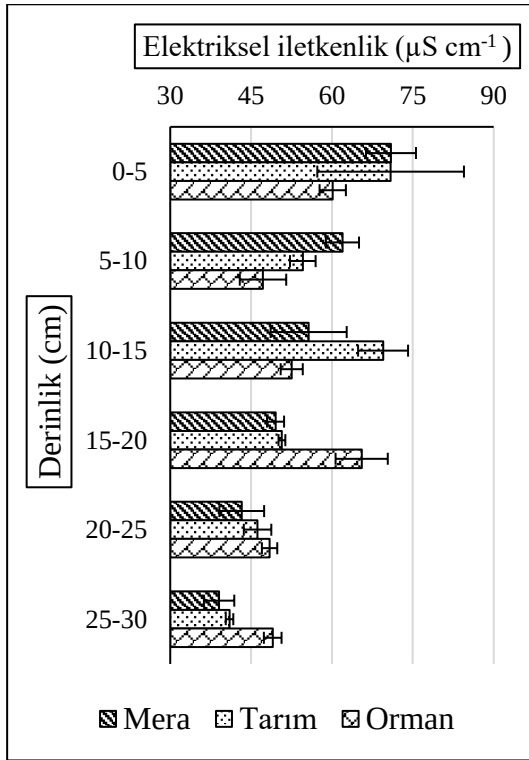
Şekil 5.5. Alanların derinliğe bağlı pH değerleri



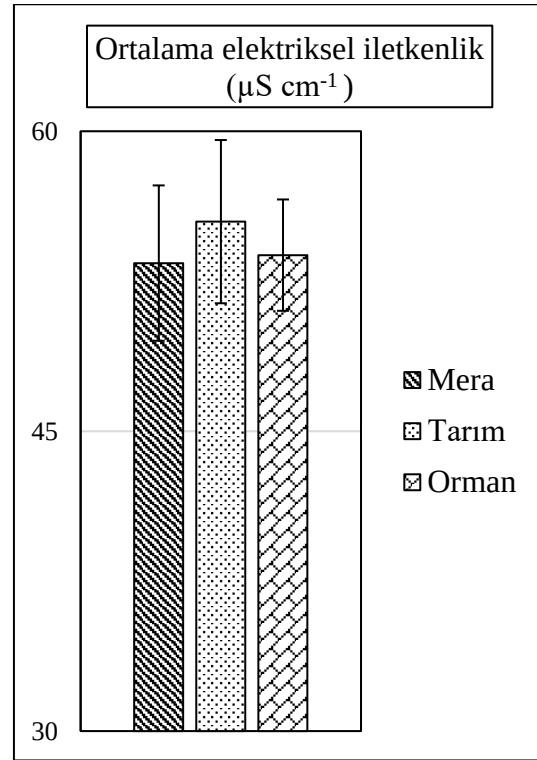
Şekil 5.6. Alanların ortalama pH değerleri

Elektriksel iletkenlik değerlerinin derinliğe bağlı değişimleri Şekil 5.7’de, ortalama değerlerinin alansal değişimleri Şekil 5.8’de verilmiştir. Elektriksel iletkenlik değerleri, mera alanında derinlik arttıkça azalmıştır; tarım ve orman alanlarında doğrusal olmayan, önce azalma, sonra artma ve sonra tekrar azalma eğilimleri göstermiştir. Ortalama değerlerin alansal dağılımı tarım> orman> mera şeklinde olmuştur.

Tarım alanında görülen nispeten yüksek elektriksel iletkenlik değerleri, bu alandaki tuzluluk oranı ile ilişkilidir. Düşük C/N değerleri, yüksek elektriksel iletkenlik değerlerine sebep olmaktadır (Alagöz vd., 2006). Bu bağlamda tarım alanındaki düşük C/N değerleri ve yüksek EC değerleri açıklanabilmektedir ($R=0,435$, $p<0,01$). Sonuçlar literatürle uyumlu bulunmuştur.



Şekil 5.7. Alanların derinliğe bağlı elektriksel iletkenlik değerleri



Şekil 5.8. Alanların ortalama elektriksel iletkenlik değerleri

5.3. Organik Madde

Organik madde değerleri, beklenen ve ölçülen olarak iki grupta ele alınmıştır. Beklenen organik madde, kızdırma kaybı analizi sonucu elde edilen verileri; ölçülen organik madde ise toplam organik karbon (modifiye Walkley-Black) analizi sonuçlarının uygun katsayı ile çarpılmasıyla elde edilen verileri içermektedir. Bu iki veri seti

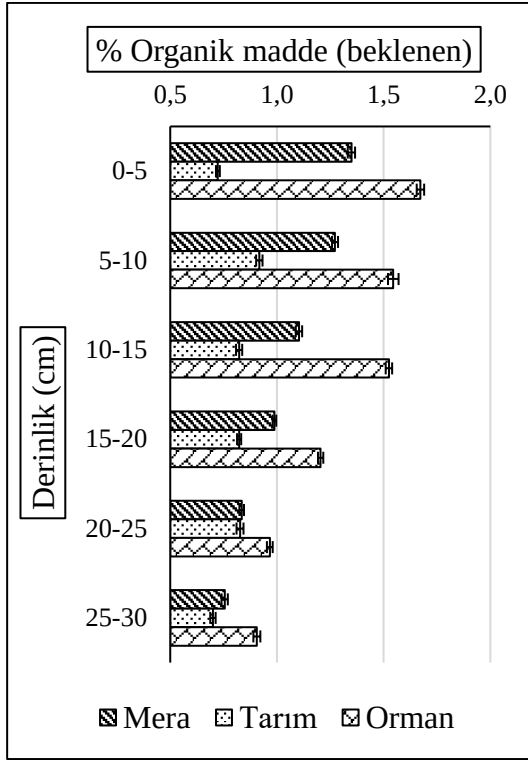
karşılaştırılarak, kızdırma kaybı analizinin farklı alan kullanımlarındaki organik madde miktarını ve derinliğe bağlı değişimini ne derece yansıtabildiğini yorumlamak amaçlanmıştır.

Mera, tarım ve orman alanlarına ait beklenen organik madde değerlerinin derinliğe bağlı değişimleri Şekil 5.9’da, ölçülen organik madde değerlerinin derinliğe bağlı değişimleri Şekil 5.10’da, iki veri setine ait ortalama değerlerin alansal değişimlerinin karşılaştırması Şekil 5.11’de verilmiştir.

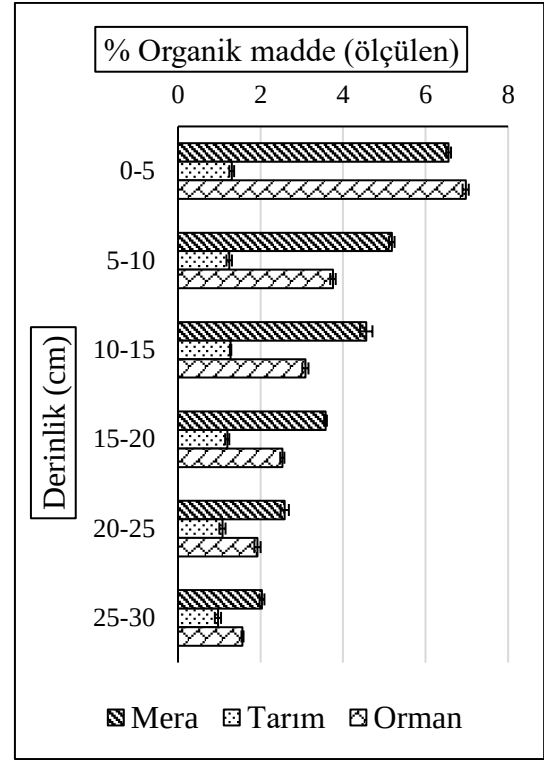
Beklenen organik madde değerleri, mera ve orman alanlarında derinlik arttıkça azalmıştır; tarım alanındaki değerlerin oldukça düşük olduğu, önemli ve doğrusal bir değişimin olmadığı görülmektedir. Ortalama değerlerin alansal dağılımı orman> mera> tarım şeklindedir.

Ölçülen organik madde değerlerinin derinliğe bağlı değişimleri, üç alan için de, beklenen organik madde değerlerinin değişimleriyle aynıdır. Farklı olarak, ortalama değerlerin alansal dağılımı mera> orman> tarım şeklinde olmuştur.

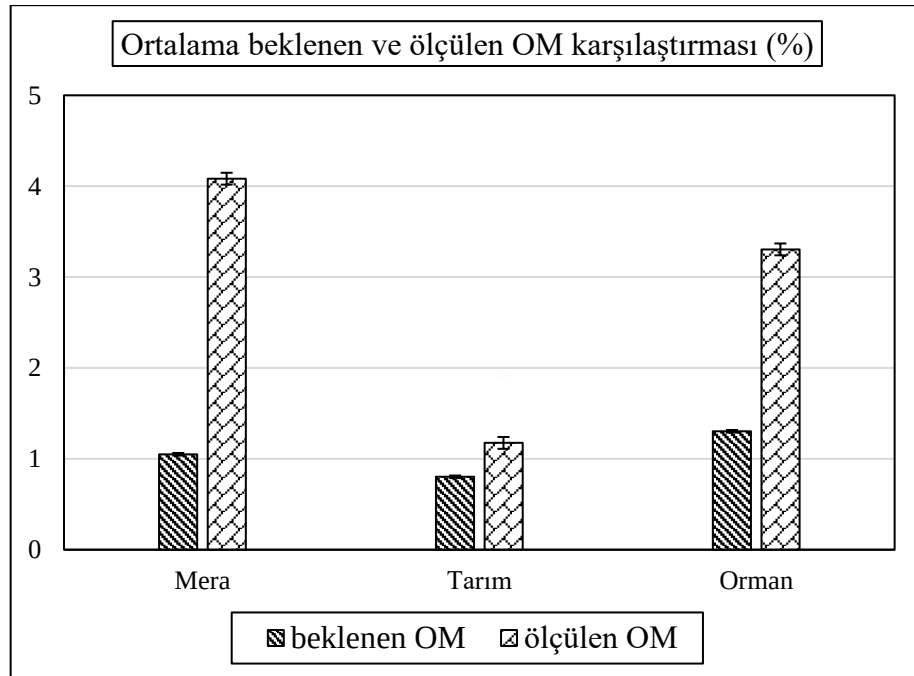
Şekil 5.11’de de görüldüğü üzere kızdırma kaybı analizi, mera ve orman alanlarında alan içi organik maddenin derinlikle değişimini yansıtabiliyorken (mera için $R= 0,766$, $p<0,01$; orman için $R= 0,743$, $p<0,01$), gerçek TOM miktarı hakkında bilgi verememektedir. Tarım alanında ise iki analiz sonucunun derinlikle değişimleri benzerlik göstermemektedir, fakat gerçek TOM miktarları birbirlerine yaklaşmıştır. Bu bağlamda kızdırma kaybı analizinin mera ve orman alanlarında yalnızca TOM’un/TOK’un derinlikle değişiminin ne şekilde olacağını tahmin etmek açısından kullanılabilir olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.9. Alanların derinliğe bağlı organik madde (beklenen) değerleri



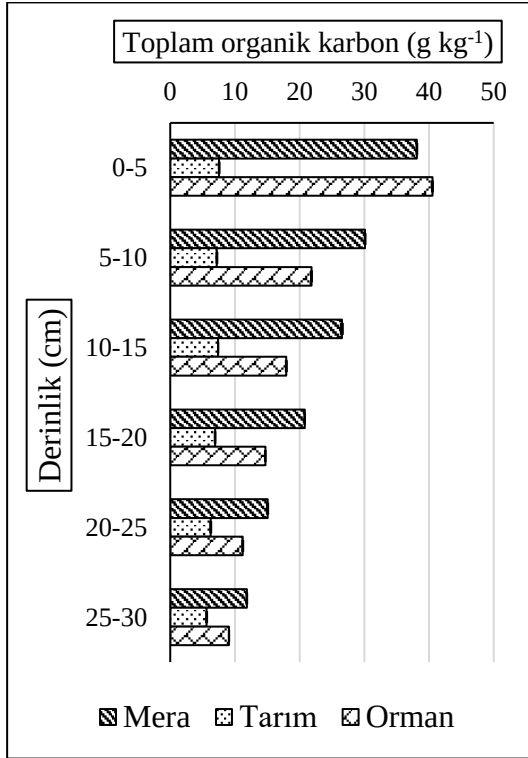
Şekil 5.10. Alanların ortalama organik madde (beklenen) değerleri



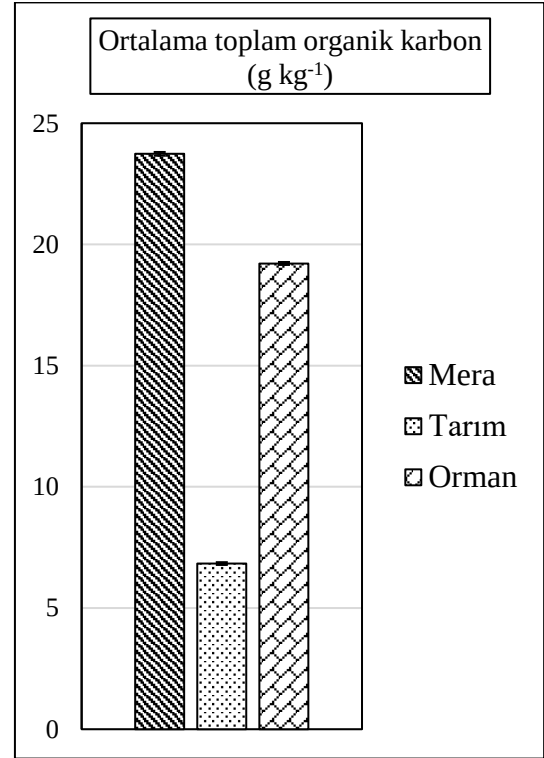
Şekil 5.11. Alanların ortalama beklenen ve ölçülen OM karşılaştırması

5.4. Toplam Organik Karbon

Mera, tarım ve orman alanlarına ait TOK değerlerinin derinliğe bağlı değişimleri Şekil 5.12’de, ortalama değerlerinin alansal değişimleri Şekil 5.13’te verilmiştir. TOK değerleri, mera ve orman alanlarında derinlik arttıkça azalmıştır; tarım alanında büyük bir değişim görülmemiştir. Ortalama değerlerin alansal dağılımı mera> orman> tarım şeklindedir.



Şekil 5.12. Alanların derinliğe bağlı toplam organik karbon değerleri



Şekil 5.13. Alanların ortalama toplam organik karbon değerleri

TOK değerlerinin diğer toprak parametreleriyle oluşturduğu korelasyon katsayıları, Tablo 5.3’te verilmiştir. Tablodan da görüldüğü üzere TOK değerleri tek başına birçok toprak parametresi hakkında bilgi vermektedir. Bu bağlamda toprak analizlerinde TOK’un, en önemli parametrelerden biri olduğu söylenebilir. Sonuçlar literatür ile uyum göstermektedir.

Tablo 5.3. TOK değerlerinin diğer toprak parametreleriyle oluşturduğu korelasyon katsayıları ($p < 0,01$)

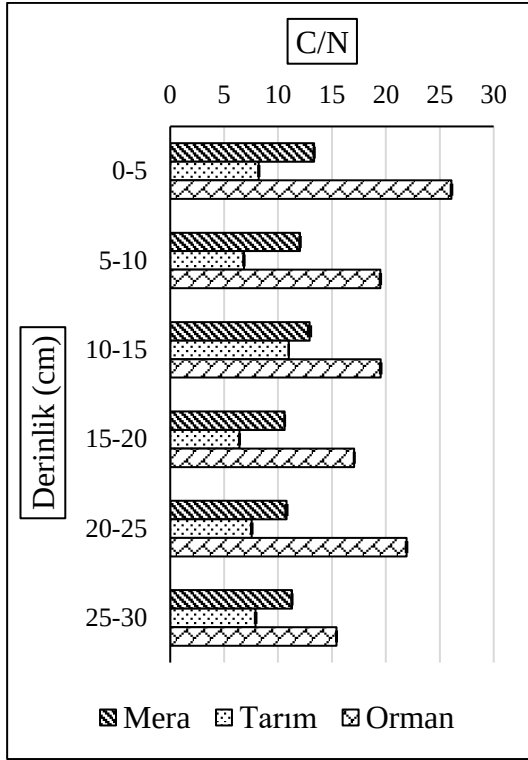
Yığın yoğunluğu	R= -0,453
pH	R= -0,663
C/N	R= 0,620
SEEOK	R= 0,834
SSEEOK	R= 0,785
OM (beklenen)	R= 0,644
Kil içeriği	R= -0,758
Kum içeriği	R= 0,845

5.5. C/N Oranı

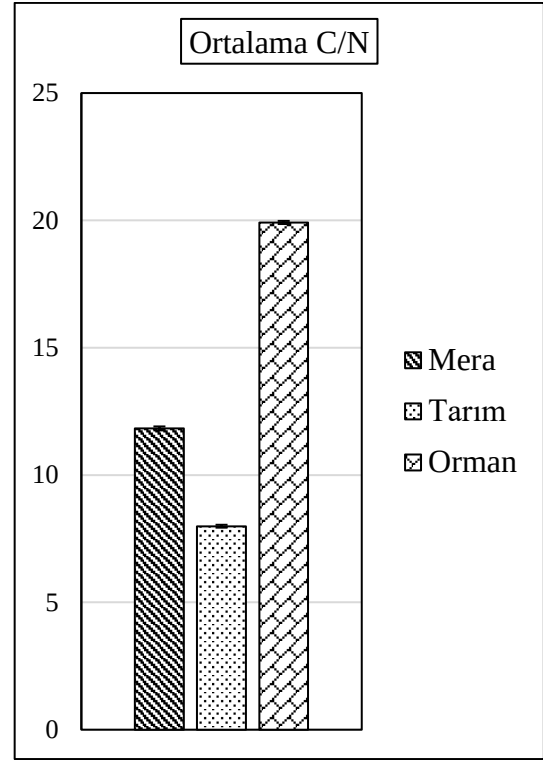
Mera, tarım ve orman alanlarına ait C/N değerlerinin derinliğe bağlı değişimleri Şekil 5.14'te, ortalama değerlerinin alansal değişimleri Şekil 5.15'te verilmiştir. C/N değerlerinin derinliğe bağlı değişimleri üç alan için de, doğrusal olmayan, önce azalma, sonra artma ve sonra tekrar azalma eğilimleri göstermiştir. Ortalama değerlerin alansal dağılımı orman> mera> tarım şeklinde olmuştur.

Düşük C/N değerleri; yüksek pH değerlerine (daha bazik) ve yüksek elektriksel iletkenliğe sebep olmaktadır (pH için $R = -0,614$, $p < 0,01$; EC için $R = 0,435$, $p < 0,01$). Aynı zamanda uygulanan C/N, büyük boyutlu agregatlarda (kil için $R = -0,519$, $p < 0,01$; kum için $R = 0,505$, $p < 0,01$) daha etkilidir (Alagöz vd., 2006).

Nispeten düşük C/N oranları, topraktaki organik maddenin humuslaşmaya uğradığını ve N mineralleşmesini desteklediğini göstermektedir (Dick, 1983). Sonuçlar literatürle desteklenmektedir.



Şekil 5.14. Alanların derinliğe bağlı C/N oranı

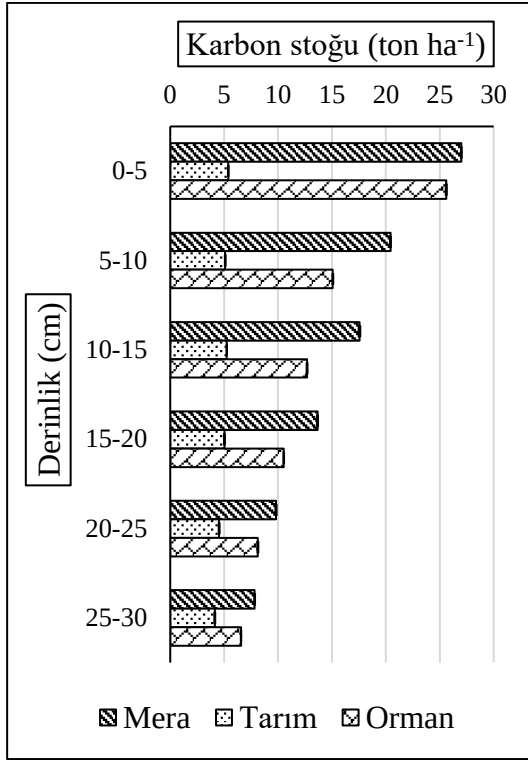


Şekil 5.15. Alanların ortalama C/N oranı

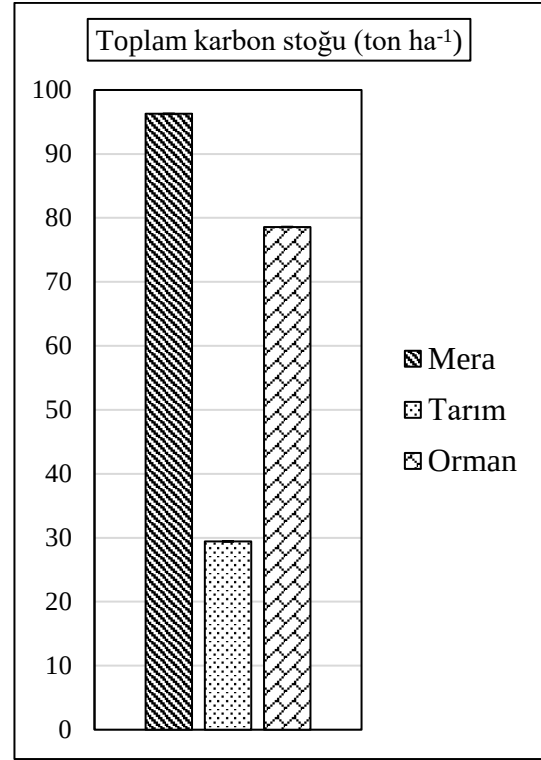
5.6. Karbon Stoğu

Mera, tarım ve orman alanlarına ait karbon stok değerlerinin derinliğe bağlı değişimleri Şekil 5.16’da, ortalama değerlerinin alansal değişimleri Şekil 5.17’de verilmiştir. C stok değerleri, her 3 alanda da derinlik arttıkça azalmıştır. En büyük değişimler 0-10 cm arasında görülmüştür. Ortalama değerlerin alansal dağılımı mera> orman> tarım şeklindedir.

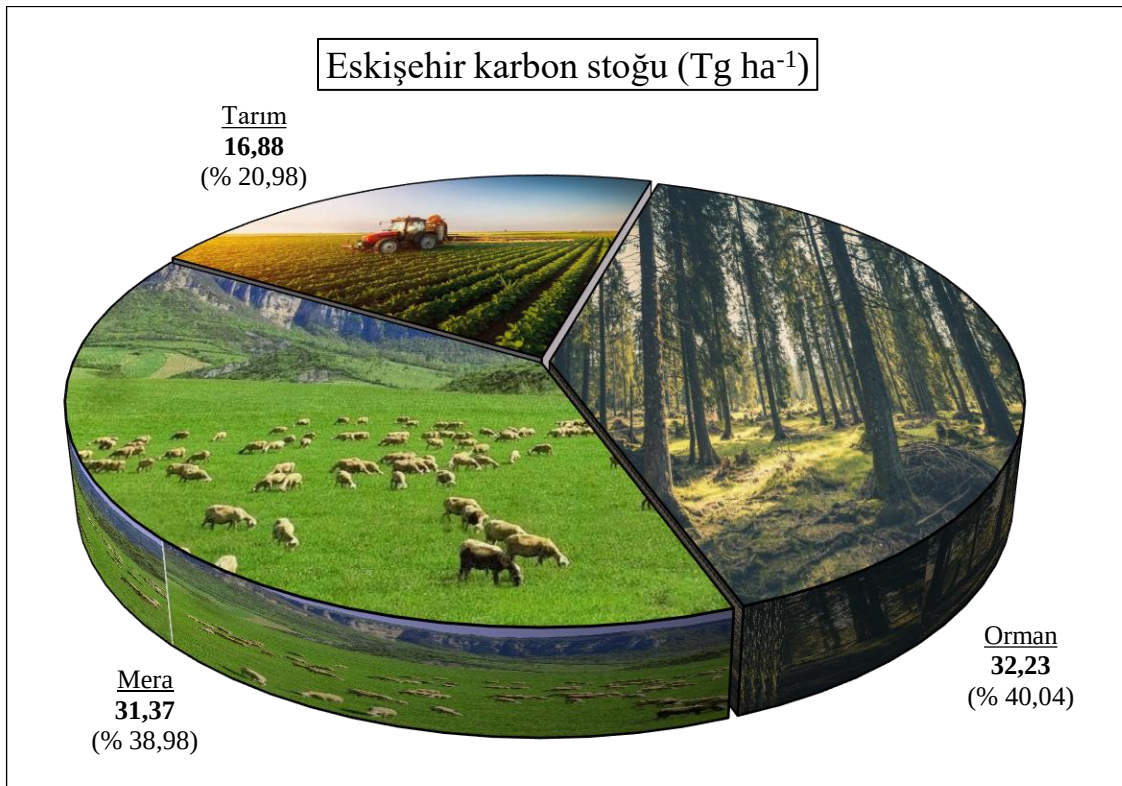
Eskişehir ili çapında tüm çayır ve mera, tarım ve orman alanlarının bu çalışmaya ait veri setleri ile yaklaşık olarak aynı değerlere sahip olduğu varsayımı yapılarak Eskişehir C stoğu, $Tg\ ha^{-1}$ ($Tg = 10^{12}\ g$) cinsinden ifade edilmiştir (Şekil 5.18). Eskişehir C stok değerleri mera alanında $31,37\ Tg\ ha^{-1}$, tarım alanında $16,88\ Tg\ ha^{-1}$ ve orman alanında $32,23\ Tg\ ha^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.16. Alanların derinliğe bağlı C stoğu



Şekil 5.17. Alanların ortalama C stoğu



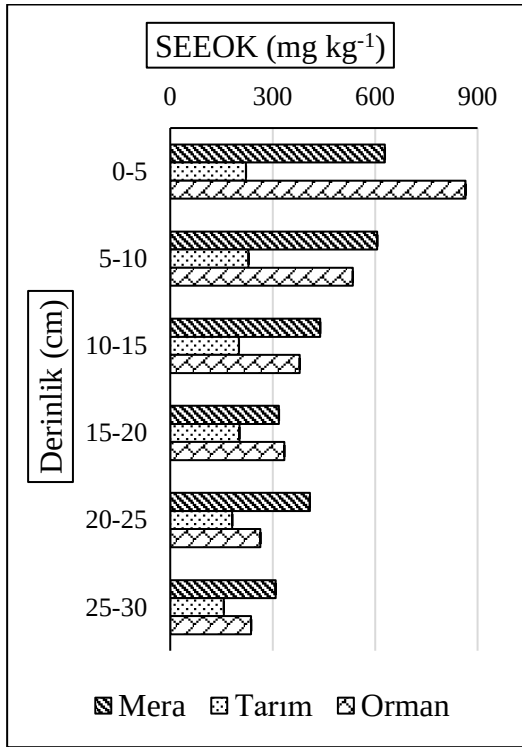
Şekil 5.18. Eskişehir karbon stoğunun alanlara göre dağılımı

5.7. Su ile Ekstrakte Edilebilen Organik Karbon

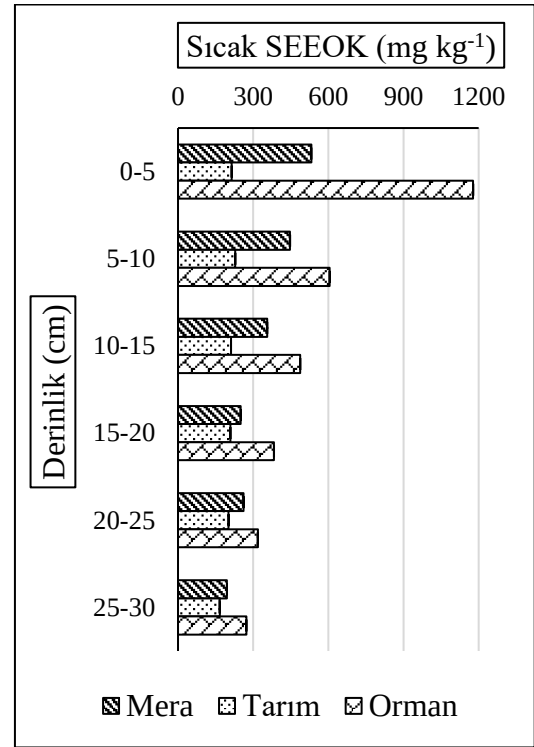
Mera, tarım ve orman alanlarına ait toplam SEEOK değerlerinin derinliğe bağlı değişimleri Şekil 5.19’da, SSEEOK değerlerinin derinliğe bağlı değişimleri Şekil 5.20’de iki veri setine ait ortalama değerlerin alansal değişimlerinin karşılaştırması Şekil 5.21’de verilmiştir.

Toplam SEEOK değerleri, mera ve orman alanlarında derinlik arttıkça azalmıştır; tarım alanında önemli ve doğrusal bir değişimin olmadığı görülmektedir. Ortalama değerlerin alansal dağılımı mera> orman> tarım şeklindedir.

SSEEOK değerleri de aynı şekilde mera ve orman alanlarında derinlik arttıkça azalmıştır; tarım alanında önemli ve doğrusal bir değişim bulunmamaktadır. Farklı olarak, ortalama değerlerin alansal dağılımı orman> mera> tarım şeklinde olmuştur.



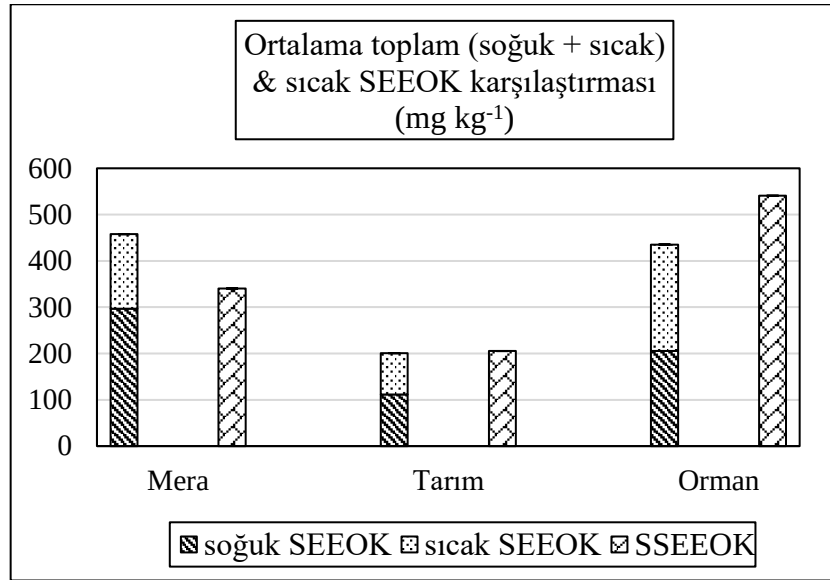
Şekil 5.19. Alanların derinliğe bağlı toplam SEEOK değerleri



Şekil 5.20. Alanların ortalama toplam SEEOK değerleri

Şekil 5.21’de görüldüğü üzere SSEEOK değerleri, toplam SEEOK değerlerini güçlü bir pozitif korelasyon ile yansıtabilmektedir ($R= 0,885$, $p<0,01$). Tek başına SSEEOK analizinin mera alanındaki ekstrakte edilebilen organik karbon değerini yansıtmada toplam SEEOK analizine kıyasla yetersiz olduğu; tarım ve orman alanlarındaki ekstrakte edilebilen organik karbon değerlerini yansıtmada toplam SEEOK

analizine kıyasla çok daha başarılı olduğu görülmüştür. SEEOK (soğuk + sıcak) analizi, SSEEOK analizine göre 2 kat daha fazla zaman gerektirmektedir. Dolayısıyla tarım ve orman alanlarında yapılması planlanan su ile ekstrakte edilebilen organik karbon analizleri için sadece sıcak suyun kullanıldığı ekstraksiyon yöntemi (SSEEOK); hem daha doğru hem de daha hızlı veri elde edebilmek adına, optimum ekstraksiyon yöntemi olarak kabul edilmiştir. Mera alanında TOM değerlerinin yüksek olması sebebiyle agregat stabilitesinin de yüksek olduğu; dolayısıyla parçalanmanın daha zor olduğu söylenebilir. Bu bağlamda toprağın daha uzun süre suyla etkileşiminin gerekli olduğu düşünülmektedir ve mera alanı için hem soğuk hem sıcak suyun kullanıldığı ekstraksiyon yönteminin (SEEOK) optimum olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 5.21. Alanların toplam SEEOK ve SSEEOK karşılaştırması

5.8. Küresel Isınma Potansiyeli

DNDC (v9.5) modeli kullanılarak Eskişehir ili mera ve tarım alanlarında 0-10 cm derinlikteki küresel ısınma potansiyeli verileri elde edilmiştir (Tablo 5.4). Toprak örneklerinin alındığı dönemde tarım toprağı nadas döneminde olduğundan, tarım için hem nadas hem de buğday ekili dönem olmak üzere 2 farklı senaryo oluşturulmuştur. TOK yoğunluğu, topraktaki C değişimini (net) ifade etmektedir.

Tablo 5.4. Farklı alan kullanımlarının küresel ısınma potansiyeli

	TOK yoğunluğu (kg CO ₂ -eşd ha ⁻¹)	CH₄ (kg CO ₂ -eşd ha ⁻¹)	Toplam (kg CO ₂ -eşd ha ⁻¹)
Mera	1.197	-17	1.180
Tarım (nadas)	433	-2	431
Tarım (buğday)	-356	-2	-358
Toplam	1.274	-21	1.253

Tablo incelendiğinde, buğday dönemi tarım alanının C kaynağı olduğu ve dolayısıyla küresel ısınmaya olumsuz etki ettiği açıkça görülmektedir. Bu etkinin en aza indirilebilmesi için tarımsal ıslah çalışmalarının benimsenmesi ve uygulanması esastır.

5.9. Karbon Dinamiği

Mera ve tarım alanlarında 0-10 cm derinlik için DNDC modeliyle elde edilen CO₂ değerleri (kaynak) ve C stoğu hesabından 0-10 cm derinlikten elde edilen C değerleri (yutak) Tablo 5.5'te verilmiştir.

Tablo 5.5. Mera ve tarım alanlarının karbon dinamiği

	C yutağı (ton C ha ⁻¹)	C kaynağı (ton C ha ⁻¹)	Net C (ton C ha ⁻¹)
Mera	47,42	0,327	47,093
Tarım (nadas)	10,48	0,118	10,362

5.10. İstatistiksel Değerlendirme

Her bir alan için ayrı ayrı ve tüm veriler için genel bir tablo olacak şekilde hesaplanan Pearson korelasyon katsayıları Tablo 5.6, Tablo 5.7, Tablo 5.8 ve Tablo 5.9'da verilmiştir. Tabloda % 40'ın üzerinde ilişkili olan veriler, kalın harflerle belirtilmiştir.

Tablo 5.6. Mera alanındaki parametrelerin Pearson korelasyon katsayıları

		Yıgım yoğunluğu	Nem içeriği	pH	Elektriksel iletkenlik	Toplam organik karbon	C/N	SEEOk	SSEEOk	OM (beklenen)	OM (ölçülen)	Kil içeriği	Silt içeriği	Kum içeriği
Yıgım yoğunluğu	Pearson Correlation	1	,163	,011	,442**	,215	,017	-,148	,110	,151	,215	-,094	-,167	,485**
	Sig. (2-tailed)		,170	,926	,000	,070	,886	,214	,359	,204	,070	,431	,160	,000
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Nem içeriği	Pearson Correlation	,163	1	,334**	-,143	,078	-,091	-,067	-,070	-,089	,078	-,347**	-,430**	,321**
	Sig. (2-tailed)	,170		,004	,232	,513	,448	,578	,560	,459	,513	,003	,000	,006
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
pH	Pearson Correlation	,011	,334**	1	-,311**	-,422**	,277*	-,300*	-,429**	-,395**	-,422**	-,461**	-,426**	-,336**
	Sig. (2-tailed)	,926	,004		,008	,000	,019	,010	,000	,001	,000	,000	,000	,004
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Elektriksel iletkenlik	Pearson Correlation	,442**	-,143	-,311**	1	,628**	-,356**	,360**	,497**	,510**	,628**	,249*	,153	,591**
	Sig. (2-tailed)	,000	,232	,008		,000	,002	,002	,000	,000	,000	,035	,200	,000
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Toplam organik karbon	Pearson Correlation	,215	,078	-,422**	,628**	1	-,588**	,798**	,889**	,766**	1,000**	,314**	,180	,845**
	Sig. (2-tailed)	,070	,513	,000	,000		,000	,000	,000	,000	0,000	,007	,131	,000
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
C/N	Pearson Correlation	,017	-,091	,277*	-,356**	-,588**	1	-,506**	-,559**	-,583**	-,588**	,015	,086	-,432**
	Sig. (2-tailed)	,886	,448	,019	,002	,000		,000	,000	,000	,000	,904	,475	,000
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
SEEOk	Pearson Correlation	-,148	-,067	-,300*	,360**	,798**	-,506**	1	,890**	,656**	,798**	,195	,128	,491**
	Sig. (2-tailed)	,214	,578	,010	,002	,000	,000		,000	,000	,000	,101	,285	,000
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
SSEEOk	Pearson Correlation	,110	-,070	-,429**	,497**	,889**	-,559**	,890**	1	,759**	,889**	,238*	,143	,677**
	Sig. (2-tailed)	,359	,560	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,044	,229	,000
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
OM (beklenen)	Pearson Correlation	,151	-,089	-,395**	,510**	,766**	-,583**	,656**	,759**	1	,766**	,343**	,249*	,661**
	Sig. (2-tailed)	,204	,459	,001	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,003	,035	,000
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
OM (ölçülen)	Pearson Correlation	,215	,078	-,422**	,628**	1,000**	-,588**	,798**	,889**	,766**	1	,314**	,180	,845**
	Sig. (2-tailed)	,070	,513	,000	,000	0,000	,000	,000	,000	,000		,007	,131	,000
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Kil içeriği	Pearson Correlation	-,094	-,347**	-,461**	,249*	,314**	,015	,195	,238*	,343**	,314**	1	,954**	,292*
	Sig. (2-tailed)	,431	,003	,000	,035	,007	,904	,101	,044	,003	,007		,000	,013
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Silt içeriği	Pearson Correlation	-,167	-,430**	-,426**	,153	,180	,086	,128	,143	,249*	,180	,954**	1	,109
	Sig. (2-tailed)	,160	,000	,000	,200	,131	,475	,285	,229	,035	,131	,000		,361
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Kum içeriği	Pearson Correlation	,485**	,321**	-,336**	,591**	,845**	-,432**	,491**	,677**	,661**	,845**	,292*	,109	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,006	,004	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,013	,361	
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Tablo 5.7. Tarım alanındaki parametrelerin Pearson korelasyon katsayıları

		Yiğın yoğunluğu	Nem içeriği	pH	Elektriksel iletkenlik	Toplam organik karbon	C/N	SEEOK	SSEEOK	OM (beklenen)	OM (ölçülen)	Kil içeriği	Silt içeriği	Kum içeriği
Yiğın yoğunluğu	Pearson Correlation	1	,253*	-,557**	-,059	,058	,140	-,101	-,238*	-,409**	,058	-,172	-,153	-,223
	Sig. (2-tailed)		,032	,000	,622	,627	,240	,399	,044	,000	,627	,148	,198	,060
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Nem içeriği	Pearson Correlation	,253*	1	,270*	-,387**	-,518**	-,039	-,642**	-,676**	-,029	-,518**	-,692**	-,696**	-,565**
	Sig. (2-tailed)	,032		,022	,001	,000	,743	,000	,000	,806	,000	,000	,000	,000
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
pH	Pearson Correlation	-,557**	,270*	1	-,257*	-,317**	-,165	-,386**	-,241*	,196	-,317**	,019	,041	-,089
	Sig. (2-tailed)	,000	,022		,029	,007	,166	,001	,041	,099	,007	,872	,730	,459
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Elektriksel iletkenlik	Pearson Correlation	-,059	-,387**	-,257*	1	,396**	,435**	,334**	,271*	-,113	,396**	,341**	,328**	,374**
	Sig. (2-tailed)	,622	,001	,029		,001	,000	,004	,021	,346	,001	,003	,005	,001
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Toplam organik karbon	Pearson Correlation	,058	-,518**	-,317**	,396**	1	,370**	,748**	,745**	-,019	1,000**	,216	,212	,275*
	Sig. (2-tailed)	,627	,000	,007	,001		,001	,000	,000	,872	0,000	,068	,074	,020
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
C/N	Pearson Correlation	,140	-,039	-,165	,435**	,370**	1	,051	,023	-,357**	,370**	,031	-,001	,043
	Sig. (2-tailed)	,240	,743	,166	,000	,001		,672	,846	,002	,001	,793	,996	,720
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
SEEOK	Pearson Correlation	-,101	-,642**	-,386**	,334**	,748**	,051	1	,888**	,277*	,748**	,308**	,310**	,322**
	Sig. (2-tailed)	,399	,000	,001	,004	,000	,672		,000	,018	,000	,008	,008	,006
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
SSEEOK	Pearson Correlation	-,238*	-,676**	-,241*	,271*	,745**	,023	,888**	1	,294*	,745**	,304**	,300*	,307**
	Sig. (2-tailed)	,044	,000	,041	,021	,000	,846	,000		,012	,000	,010	,011	,009
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
OM (beklenen)	Pearson Correlation	-,409**	-,029	,196	-,113	-,019	-,357**	,277*	,294*	1	-,019	,081	,065	,096
	Sig. (2-tailed)	,000	,806	,099	,346	,872	,002	,018	,012		,872	,501	,590	,423
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
OM (ölçülen)	Pearson Correlation	,058	-,518**	-,317**	,396**	1,000**	,370**	,748**	,745**	-,019	1	,216	,212	,275*
	Sig. (2-tailed)	,627	,000	,007	,001	0,000	,001	,000	,000	,872		,068	,074	,020
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Kil içeriği	Pearson Correlation	-,172	-,692**	,019	,341**	,216	,031	,308**	,304**	,081	,216	1	,985**	,521**
	Sig. (2-tailed)	,148	,000	,872	,003	,068	,793	,008	,010	,501	,068		,000	,000
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Silt içeriği	Pearson Correlation	-,153	-,696**	,041	,328**	,212	-,001	,310**	,300*	,065	,212	,985**	1	,452**
	Sig. (2-tailed)	,198	,000	,730	,005	,074	,996	,008	,011	,590	,074	,000		,000
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Kum içeriği	Pearson Correlation	-,223	-,565**	-,089	,374**	,275*	,043	,322**	,307**	,096	,275*	,521**	,452**	1
	Sig. (2-tailed)	,060	,000	,459	,001	,020	,720	,006	,009	,423	,020	,000	,000	
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72

**-. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Tablo 5.8. Orman alanındaki parametrelerin Pearson korelasyon katsayıları

		Yıgın yoğunluğu	Nem içeriği	pH	Elektriksel iletkenlik	Toplam organik karbon	C/N	SEEOK	SSEEOK	OM (beklenen)	OM (ölçülen)	Kil içeriği	Silt içeriği	Kum içeriği
Yıgın yoğunluğu	Pearson Correlation	1	,727**	,362**	,301*	,752**	,452**	,634**	,729**	,552**	,752**	-,486**	,262*	,288*
	Sig. (2-tailed)		,000	,002	,010	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,026	,014
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Nem içeriği	Pearson Correlation	,727**	1	,138	,071	,495**	,250*	,246*	,343**	,287*	,495**	-,421**	,200	,300*
	Sig. (2-tailed)	,000		,249	,554	,000	,034	,037	,003	,014	,000	,000	,092	,011
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
pH	Pearson Correlation	,362**	,138	1	,445**	,474**	,338**	,519**	,515**	,372**	,474**	-,233*	,154	,088
	Sig. (2-tailed)	,002	,249		,000	,000	,004	,000	,000	,001	,000	,049	,197	,463
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Elektriksel iletkenlik	Pearson Correlation	,301*	,071	,445**	1	,365**	,223	,436**	,373**	,335**	,365**	-,208	,326**	-,257*
	Sig. (2-tailed)	,010	,554	,000		,002	,060	,000	,001	,004	,002	,080	,005	,029
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Toplam organik karbon	Pearson Correlation	,752**	,495**	,474**	,365**	1	,632**	,900**	,923**	,743**	1,000**	-,758**	,488**	,309**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,002		,000	,000	,000	,000	0,000	,000	,000	,008
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
C/N	Pearson Correlation	,452**	,250*	,338**	,223	,632**	1	,567**	,590**	,493**	,632**	-,266*	,089	,256*
	Sig. (2-tailed)	,000	,034	,004	,060	,000		,000	,000	,000	,000	,024	,459	,030
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
SEEOK	Pearson Correlation	,634**	,246*	,519**	,436**	,900**	,567**	1	,955**	,685**	,900**	-,556**	,329**	,278*
	Sig. (2-tailed)	,000	,037	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,005	,018
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
SSEEOK	Pearson Correlation	,729**	,343**	,515**	,373**	,923**	,590**	,955**	1	,720**	,923**	-,560**	,328**	,287*
	Sig. (2-tailed)	,000	,003	,000	,001	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,005	,014
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
OM (beklenen)	Pearson Correlation	,552**	,287*	,372**	,335**	,743**	,493**	,685**	,720**	1	,743**	-,479**	,330**	,155
	Sig. (2-tailed)	,000	,014	,001	,004	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,005	,194
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
OM (ölçülen)	Pearson Correlation	,752**	,495**	,474**	,365**	1,000**	,632**	,900**	,923**	,743**	1	-,758**	,488**	,309**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,002	0,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,008
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Kil içeriği	Pearson Correlation	-,486**	-,421**	-,233*	-,208	-,758**	-,266*	-,556**	-,560**	-,479**	-,758**	1	-,828**	-,079
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,049	,080	,000	,024	,000	,000	,000	,000		,000	,511
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Silt içeriği	Pearson Correlation	,262*	,200	,154	,326**	,488**	,089	,329**	,328**	,330**	,488**	-,828**	1	-,493**
	Sig. (2-tailed)	,026	,092	,197	,005	,000	,459	,005	,005	,005	,000	,000		,000
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Kum içeriği	Pearson Correlation	,288*	,300*	,088	-,257*	,309**	,256*	,278*	,287*	,155	,309**	-,079	-,493**	1
	Sig. (2-tailed)	,014	,011	,463	,029	,008	,030	,018	,014	,194	,008	,511	,000	
	N	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72

**, Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*, Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Tablo 5.9. Tüm parametrelerin Pearson korelasyon katsayıları

		Yiğın yoğunluğu	Nem içeriği	pH	Elektriksel iletkenlik	Toplam organik karbon	C/N	SEEOK	SSEEOK	OM (beklenen)	OM (ölçülen)	Kil içeriği	Silt içeriği	Kum içeriği
Yiğın yoğunluğu	Pearson Correlation	1	-,444**	,140*	,053	-,453**	-,151*	-,502**	-,325**	-,340**	-,453**	,000	,005	,151*
	Sig. (2-tailed)		,000	,040	,437	,000	,026	,000	,000	,000	,000	,996	,938	,027
	N	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
Nem içeriği	Pearson Correlation	-,444**	1	-,014	-,133	,385**	-,057	,240**	-,011	,078	,385**	-,017	,047	-,462**
	Sig. (2-tailed)	,000		,832	,051	,000	,407	,000	,869	,255	,000	,802	,490	,000
	N	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
pH	Pearson Correlation	,140*	-,014	1	-,228**	-,663**	-,614**	-,568**	-,607**	-,469**	-,663**	,355**	,471**	-,311**
	Sig. (2-tailed)	,040	,832		,001	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
Elektriksel iletkenlik	Pearson Correlation	,053	-,133	-,228**	1	,262**	,198**	,281**	,309**	,206**	,262**	,163*	,132	,029
	Sig. (2-tailed)	,437	,051	,001		,000	,003	,000	,000	,002	,000	,017	,053	,669
	N	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
Toplam organik karbon	Pearson Correlation	-,453**	,385**	-,663**	,262**	1	,620**	,834**	,785**	,644**	1,000**	-,225**	-,339**	,119
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	0,000	,001	,000	,082
	N	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
C/N	Pearson Correlation	-,151*	-,057	-,614**	,198**	,620**	1	,504**	,619**	,450**	,620**	-,519**	-,656**	,505**
	Sig. (2-tailed)	,026	,407	,000	,003	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
SEEOK	Pearson Correlation	-,502**	,240**	-,568**	,281**	,834**	,504**	1	,885**	,659**	,834**	-,114	-,225**	,169*
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,096	,001	,013
	N	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
SSEEOK	Pearson Correlation	-,325**	-,011	-,607**	,309**	,785**	,619**	,885**	1	,738**	,785**	-,162*	-,344**	,448**
	Sig. (2-tailed)	,000	,869	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,017	,000	,000
	N	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
OM (beklenen)	Pearson Correlation	-,340**	,078	-,469**	,206**	,644**	,450**	,659**	,738**	1	,644**	-,141*	-,296**	,320**
	Sig. (2-tailed)	,000	,255	,000	,002	,000	,000	,000	,000		,000	,039	,000	,000
	N	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
OM (ölçülen)	Pearson Correlation	-,453**	,385**	-,663**	,262**	1,000**	,620**	,834**	,785**	,644**	1	-,225**	-,339**	,119
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	0,000	,000	,000	,000	,000		,001	,000	,082
	N	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
Kil içeriği	Pearson Correlation	,000	-,017	,355**	,163*	-,225**	-,519**	-,114	-,162*	-,141*	-,225**	1	,938**	-,313**
	Sig. (2-tailed)	,996	,802	,000	,017	,001	,000	,096	,017	,039	,001		,000	,000
	N	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
Silt içeriği	Pearson Correlation	,005	,047	,471**	,132	-,339**	-,656**	-,225**	-,344**	-,296**	-,339**	,938**	1	-,564**
	Sig. (2-tailed)	,938	,490	,000	,053	,000	,000	,001	,000	,000	,000	,000		,000
	N	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
Kum içeriği	Pearson Correlation	,151*	-,462**	-,311**	,029	,119	,505**	,169*	,448**	,320**	,119	-,313**	-,564**	1
	Sig. (2-tailed)	,027	,000	,000	,669	,082	,000	,013	,000	,000	,082	,000	,000	
	N	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

6. SONUÇ

Bu çalışmada farklı alan kullanımlarında (mera, tarım, orman) 0-30 cm derinlikten, her bir alandan 6 karot olacak şekilde, toplamda 108 toprak örneği alınarak yığın yoğunluğu, nem içeriği, pH, elektriksel iletkenlik, kızdırma kaybı, toplam organik karbon, su ile ekstrakte edilebilen organik karbon, sıcak su ile ekstrakte edilebilen organik karbon analizleri yapılmıştır. Toprak organik karbon dinamiğinin, farklı alan kullanımlarında derinliğe bağlı olarak nasıl değiştiği ve diğer toprak parametreleri ile nasıl bir ilişki içerisinde olduğu; ‘soğuk ve sıcak’ ve ‘sadece sıcak’ ekstraksiyon baz alındığında farklı alan kullanımlarında optimum ekstraksiyon yönteminin ne olduğu yorumlanmaya çalışılmıştır. Aynı zamanda analiz verileri kullanılarak Eskişehir ili karbon stoğu, karbon dinamiği ve küresel ısınma potansiyeli tahminlemesi yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

- Tüm alanlar için en önemli değişiklikler 0-10 cm derinlikte olmuştur. Bu durum, yüzey toprağının atmosfer ile birebir ilişkisini göstermektedir.
- Topraktaki sıkışma oranlarının tarım> orman> mera şeklinde olduğu ve tarım makinalarının topraktaki trafiği sonucunda tarım alanlarında sıkışmanın ve dolayısıyla yığın yoğunluğunun arttığı söylenebilir.
- TOK değişimine bağlı olarak yığın yoğunluğu değerlerinin negatif yönde değişimi görülmektedir.
- Yığın yoğunluğu değerleri ile nem içeriği değerleri, negatif ilişkili bulunmuştur.
- Yığın yoğunluğu değerleri kil içeriğiyle negatif, kum içeriğiyle pozitif ilişki kurmuştur.
- C/N oranının kum içeriğiyle pozitif, kil içeriğiyle negatif ilişkisi söz konusudur.
- C/N değerleri, pH ve elektriksel iletkenlik değerleriyle negatif yönlü ilişkili bulunmuştur.
- pH değerleri, işlenmeyen topraklarda daha düşük seviyelerde kaydedilmiştir.
- Nispeten düşük C/N oranları, topraktaki organik maddenin humuslaşmaya uğradığını ve N mineralleşmesini desteklediğini göstermektedir.
- Kızdırma kaybı analizi, mera ve orman alanlarında alan içi organik maddenin derinlikle değişimini yansıtabiliyorken, gerçek TOM miktarı hakkında bilgi verememektedir. Tarım alanında ise iki analiz sonucunun derinlikle değişimleri benzerlik göstermemektedir, fakat gerçek TOM miktarları birbirlerine

yaklaşmıştır. Bu bağlamda kızdırma kaybı analizinin mera ve orman alanlarında yalnızca TOM'un/TOK'un derinlikle değişiminin ne şekilde olacağını tahmin etmek açısından kullanılabilir olduğu düşünülmektedir.

- TOK ortalama değerlerinin alansal dağılımı mera> orman> tarım şeklindedir. Mera alanının yerleşim biriminden uzak ve otlak olarak kullanılmıyor oluşunun ve orman ölü örtü tabakasının analizlere dahil edilmemesinin; bu tabloda rol oynadığı düşünülmektedir.
- TOK'un; pH, yığın yoğunluğu ve kil içeriği ile negatif; C/N oranı, SEEOK, SSEOK, beklenen OM ve kum ile pozitif korelasyonu görülmektedir. Tablodan da görüldüğü üzere TOK değerleri tek başına birçok toprak parametresi hakkında bilgi vermektedir. Bu bağlamda toprak analizlerinde TOK'un, en önemli toprak parametrelerinden biri olduğu kabul edilmiştir.
- Eskişehir C stok değerleri mera alanında 31,37 Tg ha⁻¹, tarım alanında 16,88 Tg ha⁻¹ ve orman alanında 32,23 Tg ha⁻¹ olarak hesaplanmıştır.
- SEEOK (soğuk + sıcak) analizi, SSEOK analizine göre 2 kat daha fazla zaman gerektirmektedir. Dolayısıyla tarım ve orman alanlarında yapılması planlanan su ile ekstrakte edilebilen organik karbon analizleri için sadece sıcak suyun kullanıldığı ekstraksiyon yöntemi (SSEOK); hem daha doğru hem de daha hızlı veri elde edebilmek adına, optimum ekstraksiyon yöntemi olarak kabul edilmiştir. Mera alanında TOM değerlerinin yüksek olması sebebiyle agregat stabilitesinin de yüksek olduğu; dolayısıyla parçalanmanın daha zor olduğu söylenebilir. Bu bağlamda toprağın daha uzun süre suyla etkileşiminin gerekli olduğu düşünülmektedir ve mera alanı için hem soğuk hem sıcak suyun kullanıldığı ekstraksiyon yönteminin (SEEOK) optimum olduğu kabul edilmiştir.
- Eskişehir ili mera ve tarım alanlarında 0-10 cm derinlikteki küresel ısınma potansiyeli mera için 1.180 kg CO₂-eşd ha⁻¹, tarım nadas dönemi için 431 CO₂-eşd ha⁻¹ ve tarım buğday dönemi için -358 CO₂-eşd ha⁻¹ olarak bulunmuştur. Tarım alanının ekili dönemde C kaynağı olduğu ve dolayısıyla küresel ısınmaya olumsuz etki ettiği açıkça görülmektedir. Bu etkinin en aza indirilebilmesi için tarımsal ıslah çalışmalarının benimsenmesi ve uygulanması esastır.

- Eskişehir ili mera ve tarım alanlarında 0-10 cm derinlikteki C dinamiği mera için C yutağı 47,42 ton C ha⁻¹, C kaynağı 0,327 ton C ha⁻¹; tarım nadas dönemi için C yutağı 10,48 ton C ha⁻¹, C kaynağı 0,118 ton C ha⁻¹ olarak bulunmuştur.
- Tarımsal yönetim ile toprak mahsul kalıntısı girdileri azalmakta, mahsul kalıntılarının mineralleşme oranları artmakta ve TOK'un fiziksel koruması azalmaktadır. Toprak kalitesinin geliştirilmesi ve iklim değişikliğine katkının azaltılması adına sürdürülebilir tarım sistemlerinin benimsenmesi ve orman alanlarının artırılması esastır.
- Alan yönetiminde erozyonla mücadele edebilmek adına, mera alanlarında bitki örtüsünün azalmasına sebep olan aşırı otlatmadan, tarım alanlarının eğimli arazilerde oluşturulmasından ve aşırı arazi işlemlerinden kaçınılmalıdır.
- Tarım alanlarında yıl içinde birden fazla ürün yetiştirilmesi, toprak tahribini arttırmasının yanında, kullanılan gübre miktarını da arttırarak gerek toprakta gerekse yer altı sularında nitrat kirliliğine neden olmaktadır. Bu bağlamda, tek yıllık bitki yerine çok yıllık bitki üretiminin uygulanması, tarımsal ıslah için iyi bir alternatiftir.
- Aşırı ve kontrolsüz sulama ile artan sulu tarım uygulamaları; aşırı gübre ve arazi işleme sorunlarına neden olmakta, toprağın tuzluluk oranını arttırmaktadır.
- Şehirleşme ve endüstriyel yatırımların verimli topraklar üzerine kurulması, toprağın geri dönülmez kaybına sebep olmaktadır. Bu bağlamda planlı kentleşmenin benimsenmesi ve uygulanması esastır.
- Orman alanlarında organik karbon; toprakta, biyokütle bünyesinde ve ölü örtü tabakasında bulunur. Aynı zamanda ormanlar, fotosentez olayı ile karbon döngüsünde birebir rol almaktadır. Yapılan çalışmada ormanın yalnızca toprak organik karbonu değerlendirilmiştir. Bu bağlamda orman alanlarının karasal ekosistemdeki en önemli C yutaklarından biri olduğu yadsınamaz bir gerçektir.

KAYNAKÇA

- Allen, M., Frame, D., Huntingford, C., Jones, C., Lowe, J., Meinshausen, M., Meinshausen, N. (2009). Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne. *Nature*, 458(7242), 1163.
- Alroy, J. (2008). Dynamics of origination and extinction in the marine fossil record. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 11536-11542.
- Archer, D. (2010). Palaeoclimate: How it went down last time. *Nature Geoscience*, 3(12), 819.
- Arevalo, C., Bhatti, J., Chang, S., Sidders, D. (2009). Ecosystem carbon stocks and distribution under different land-uses in north central Alberta, Canada. *Forest Ecology and Management*, 257(8), 1776-1785.
- Aşkın, T., Kızılkaya, R., Olekhov, V., Mudrykh, N., Samafalova, I., Türkmen, F. (2014). Toprak Organik Karbonu: Jeoistatistiksel Bir Yaklaşım. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 2(1), 13-18.
- Barančíková, G., Makovníková, J., Halas, J. (2016). Effect of land use change on soil organic carbon. *Agriculture Polnohospodárstvo*, 62(1), 10-18.
- Bastos, A., Running, S., Gouveia, C., Trigo, R. (2013). The global NPP dependence on ENSO: La Niña and the extraordinary year of 2011. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 118(3), 1247-1255.
- Beman, J., Chow, C., King, A., Feng, Y., Fuhrman, J., Andersson, A., Hutchins, D. (2011). Global declines in oceanic nitrification rates as a consequence of ocean acidification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(1), 208-213.
- Berner, R. A. (1998). The carbon cycle and carbon dioxide over Phanerozoic time: the role of land plants. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, 353(1365), 75-82.
- Bolinder, M., Angers, D., Gregorich, E., Carter, M. (1999). The response of soil quality indicators to conservation management. *Canadian Journal of Soil Science*, 79(1), 37-45.
- Bongiovanni, M., Lobartini, J. (2006). Particulate organic matter, carbohydrate, humic acid contents in soil macro-and microaggregates as affected by cultivation. *Geoderma*, 136(3-4), 660-665.

- Bronick, C., Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124 (1-2), 3-22.
- Bu, X., Ding, J., Wang, L., Yu, X., Huang, W., Ruan, H. (2011). Biodegradation and chemical characteristics of hot-water extractable organic matter from soils under four different vegetation types in the Wuyi Mountains, southeastern China. *European Journal of Soil Biology*, 47(2), 102-107.
- Caldeira, K., Wickett, M. (2003). Oceanography: anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature*, 425(6956), 365.
- Campbell, C., Biederbeck, V., McConkey, B., Curtin, D., Zentner, R. (1998). Soil quality-Effect of tillage and fallow frequency. Soil organic matter quality as influenced by tillage and fallow frequency in a silt loam in southwestern Saskatchewan. *Soil Biology and Biochemistry*, 31(1), 1-7.
- Canadell, J., et al. (2007). Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proceedings of the national academy of sciences*, 104(47), 18866-18870.
- Chan, K. Y., Heenan, D. P., Oates, A. (2002). Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management. *Soil and Tillage Research*, 63(3-4), 133-139.
- Chen, H., Hou, R., Gong, Y., Li, H., Fan, M., Kuzyakov, Y. (2009). Effects of 11 years of conservation tillage on soil organic matter fractions in wheat monoculture in Loess Plateau of China. *Soil and Tillage Research*, 106(1), 85-94.
- Cheshire, M., Chapman, S. (1996). Influence of the N and P status of plant material and of added N and P on the mineralization of C from ¹⁴C labelled ryegrass in soil. *Biology Fertility of Soils*, 21, 166–170.
- Ciais, P., Dolman, A., Bombelli, A., Duren, R., Peregon, A., Rayner, P., Gruber, N. (2013). Current systematic carbon cycle observations and needs for implementing a policy-relevant carbon observing system. *Biogeosciences Discussions*, 10, 11447-11581.
- Ciais, P., et al. (2008). Carbon accumulation in European forests. *Nature Geoscience*, 1(7), 425-429.
- Ćirić, V., Belić, M., Nešić, N., Šeremešić, S., Pejić, B., Bezdan, A., Manojlović, M. (2016). The sensitivity of water extractable soil organic carbon fractions to land

- use in three soil types. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(12), 1654-1664.
- Davidson, E. A., Ackerman, I. L. (1993). Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry*, 20(3), 161-193.
- De Kauwe, M., et al.(2013). Forest water use and water use efficiency at elevated CO₂: a model-data intercomparison at two contrasting temperate forest FACE sites. *Global change biology*, 19(6), 1759-1779.
- Değirmenci, A., Zengin, H. (2016). Ormanlardaki karbon birikiminin konumsal ve zamansal değişiminin incelenmesi: Daday planlama birimi örneği. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17(2), 177-187.
- Díaz-Hernández, J. (2010). Is soil carbon storage underestimated? *Chemosphere*, 80(3), 346-349.
- Enriquez, S., Duarte, C., Sand-Jensen, K. (1993). Patterns in decomposition rates among photosynthetic organisms: the importance of detritus C:N:P content. *Oecologia*, 94, 457–471.
- Etheridge, D., Steele, L., Langenfelds, R., Francey, R., Barnola, J., Morgan, V. (1996). Natural and anthropogenic changes in atmospheric CO₂ over the last 1000 years from air in Antarctic ice and firn. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 101, 4115-4128.
- Fissore, C., Dalzell, B., Berhe, A., Voegtle, M., Evans, M., Wu, A. (2017). Influence of topography on soil organic carbon dynamics in a Southern California grassland. *Catena*, 149, 140-149.
- Ghani, A., Dexter, M., Perrott, K. (2002). Hot-water carbon is an integrated indicator of soil quality. *17th World Conference of Soil Science*, 14-21.
- Ghani, A., Dexter, M., Perrott, K. (2003). Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil Biology And Biochemistry*, 35(9), 1231-1243.
- Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Eskişehir İl Müdürlüğü. (2016). *2016 yılı Faaliyet Raporu*. Eskişehir.
- Grandy, A., Robertson, G. (2007). Land-use intensity effects on soil organic carbon accumulation rates and mechanisms. *Ecosystems*, 10(1), 59-74.
- Gregorich, E., Beare, M., Stoklas, U., St-Georges, P. (2003). Biodegradability of soluble organic matter in maize-cropped soils. *Geoderma*, 113(3-4), 237-252.

- Gregorich, E., Carter, M., Angers, D., Monreal, C., Ellert, B. (1994). Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal Of Soil Science*, 74(4), 367-385.
- Guo, L., Gifford, R. (2002). Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology*, 8(4), 345-360.
- Gupta, R., Rao, D. (1994). Potential of wastelands for sequestering carbon by reforestation. *Current science*, 378-380.
- Haberl, H., et al. (2007). Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(31), 12942-12947.
- Hagedorn, F., Machwitz, M. (2007). Controls on dissolved organic matter leaching from forest litter grown under elevated atmospheric CO₂. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(7), 1759-1769.
- Halvorson, A., Wienhold, B., Black, A. (2002). Tillage, nitrogen, and cropping system effects on soil carbon sequestration. *Soil science society of America journal*, 66(3), 906-912.
- Hamkalo, Z., Bedernichek, T. (2014). Total, cold and hot water extractable organic carbon in soil profile: impact of land-use change. *Zemdirbyste-Agriculture*, 101(2), 125-132.
- Han, X., et al. (2018). Changes in soil organic and inorganic carbon stocks in deep profiles following cropland abandonment along a precipitation gradient across the Loess Plateau of China. *Agriculture, Ecosystems Environment*, 258, 1-13.
- Hanrahan, G. (2013). *Çevre Kimyasında Temek Kavramlar*. (Çev: İ. Toröz) Ankara: Nobel Yayıncılık.
- Haynes, R. J. (2000). Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(2), 211-219.
- Heitkamp, F., Raupp, J., Ludwig, B. (2009). Impact of fertilizer type and rate on carbon and nitrogen pools in a sandy cambisol. *Plant and Soil*, 319(1-2), 259-275.
- Herman, W., McGill, W., Dormaar, J. (1977). Effects of initial chemical composition on decomposition of roots of three grass species. *Canadian Journal of Soil Science*, 57, 205-215.

- Hibbard, K., Hoffman, F., Huntzinger, D., West, T. (2017). Changes in land cover and terrestrial biogeochemistry. D. Wuebbles, D. Fahey, K. Hibbard, D. Dokken, B. Stewart, T. Maycock (Ed.), *Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment* içinde (277-302).
- Houghton, R. (2003). Why are estimates of the terrestrial carbon balance so different? *Global change biology*, 9(4), 500-509.
- Huang, Y., Sun, W., Zhang, W., Yu, Y. (2010). Changes in soil organic carbon of terrestrial ecosystems in China: A mini-review. *Science China Life Sciences*, 53(7), 766-775.
- IPCC. (2014). Climate Change: Synthesis Report. R. Pachauri, L. Meyer (Ed.), *Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* içinde. Geneva, Switzerland.
- Janzen, H. (2006). The soil carbon dilemma: Shall we hoard it or use it? *Soil Biology and Biochemistry*, 38(3), 419-424.
- Jeong, J., Kim, C., Lee, K., Bolan, N., Naidu, R. (2013). Carbon storage and soil CO₂ efflux rates at varying degrees of damage from pine wilt disease in red pine stands. *Science of the Total Environment*, 465, 273-278.
- Jin, Z., Dong, Y., Wang, Y., Wei, X., Wang, Y., Cui, B., Zhou, W. (2014). Natural vegetation restoration is more beneficial to soil surface organic and inorganic carbon sequestration than tree plantation on the Loess Plateau of China. *Science of the Total Environment*, 485, 615-623.
- Johnson, A., White, N. (2014). Ocean acidification: The other climate change issue. *American Scientist*, 102(1), 60-63.
- Joos, F., Spahni, R. (2008). Rates of change in natural and anthropogenic radiative forcing over the past 20,000 years. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(5), 1425-1430.
- Kalbitz, K., Kaiser, K. (2008). Contribution of dissolved organic matter to carbon storage in forest mineral soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(1), 52-60.
- Kalbitz, K., Schmerwitz, J., Schwesig, D., Matzner, E. (2003). Biodegradation of soil-derived dissolved organic matter as related to its properties. *Geoderma*, 113(3-4), 273-291.

- Kane, D. (2015). Carbon sequestration potential on agricultural lands: a review of current science and available practices. *National Sustainable Agriculture Coalition, Breakthrough Strategies and Solutions, LLC* içinde. Washington, D.C., USA.
- Karaöz, M. (1989). Toprakların bazı kimyasal özelliklerinin (ph, karbonat, tuzluluk, organik madde, total azot, yararlanılabilir fosfor) analizi yöntemleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 39(3), 64-82.
- Kharecha, P., Hansen, J. (2008). Implications of “peak oil” for atmospheric CO₂ and climate. *Global Biogeochemical Cycles*, 22(3).
- Kiikkilä, O., Kitunen, V., Smolander, A. (2005). Degradability of dissolved soil organic carbon and nitrogen in relation to tree species. *FEMS Microbiology Ecology*, 53(1), 33-40.
- Kim, Y., Yi, M., Lee, Y., Son, Y., Koike, T. (2012). Characteristics of Soil CO₂ Efflux in Even-aged Alder Compared to Korean Pine Plantations in Central Korea. *Journal of forest and environmental science*, 28(4), 232-241.
- Koçyiğit, R. (2008). Karasal Ekosistemde Karbon Yönetimi ve Önemi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 81-85.
- Kolář, L., Kužel, S., Horáček, J., Čechová, V., Borová-Batt, J., Peterka, J. (2009). Labile fractions of soil organic matter, their quantity and quality. *Plant, Soil and Environment*, 55(6), 245-251.
- Laik, R., Kumar, K., Das, D., Chaturvedi, O. (2009). Labile soil organic matter pools in a calciorthent after 18 years of afforestation by different plantations. *Applied Soil Ecology*, 42(2), 71-78.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123 (1-2), 1-22.
- Lal, R., Follett, R., Stewart, B., Kimble, J. (2007). Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. *Soil science*, 172(12), 943-956.
- Landgraf, D., Leinweber, P., Makeschin, F. (2006). Cold and hot water-extractable organic matter as indicators of litter decomposition in forest soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169(1), 76-82.
- Li, X., Feng, Y. (2002). Carbon sequestration potentials in agricultural soils. *Alberta Research Council Inc.*

- Luo, Z., Wang, E., Sun, O. (2010). Soil Carbon Change and its Responses to Agricultural Practices in Australian Agro-ecosystems: A Review and Synthesis. *Geoderma*, 155, 211–223.
- Mabuhay, J., Nakagoshi, N., Isagi, Y. (2006). Microbial responses to organic and inorganic amendments in eroded soil. *Land Degradation Development*, 17(3), 321-332.
- Mackey, B., Prentice, I., Steffen, W., House, J., Lindenmayer, D., Keith, H., Berry, S. (2013). Untangling the confusion around land carbon science and climate change mitigation policy. *Nature climate change*, 3(6), 552.
- Marschner, B., Kalbitz, K. (2003). Controls of bioavailability and biodegradability of dissolved organic matter in soils. *Geoderma*, 113(3-4), 211-235.
- Martens, D., Reedy, T., Lewis, D. (2004). Soil organic carbon content and composition of 130-year crop, pasture and forest land-use managements. *Global Change Biology*, 10(1), 65-78.
- McGill, W., Cannon, K., Robertson, J., Cook, F. (1986). Dynamics of soil microbial biomass and water-soluble organic C in Breton L after 50 years of cropping to two rotations. *Canadian journal of soil science*, 66(1), 1-19.
- Millero, F., Woosley, R., Ditrolio, B., Waters, J. (2009). Effect of ocean acidification on the speciation of metals in seawater. *Oceanography*, 22(4), 72-85.
- Murty, D., Kirschbaum, M., Mcmurtrie, R., Mcgilvray, H. (2002). Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? A review of the literature. *Global Change Biology*, 8(2), 105-123.
- Myhre, G., Myhre, A. (2003). Uncertainties in radiative forcing due to surface albedo changes caused by land-use changes. *Journal of Climate*, 16(10), 1511-1524.
- Nelson, P. N., Dector, M., Soulas, G. (1994). Availability of organic carbon in soluble and particle-size fractions from a soil profile. *Soil Biology and Biochemistry*, 26, 1549-1555.
- Oades, J. (1988). The retention of organic matter in soils. *Biogeochemistry*, 5, 35-80.
- Orman Genel Müdürlüğü Eskişehir Orman Toprak ve Ekolojik Araştırmaları Enstitüsü. (2014). *Toprak, Bitki ve Su Örneklerinin Alımı ve Laboratuvara Taşınma Teknikleri*. Eskişehir.

- Ostrowska, A., Porębska, G., Kanafa, M. (2010). Carbon accumulation and distribution in profiles of forest soils. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19(6), 1307-1315.
- Pan, Y., et al. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045), 988-993.
- Poirier, N., Sohi, S., Gaunt, J., Mahieu, N., Randall, E., Powlson, D., Evershed, R. (2005). The chemical composition of measurable soil organic matter pools. *Organic Geochemistry*, 36(8), 1174-1189.
- Post, W. M. (2000). Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global change biology*, 6(3), 317-327.
- Proce, G. (1997). Soil Sampling Standard Operating Procedure. *US EPA Archive* içinde.
- Puget, P., Angers, D., Chenu, C. (1998). Nature of carbohydrates associated with water-stable aggregates of two cultivated soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 31(1), 55-63.
- Raupach, M., Canadell, J. (2010). Carbon and the Anthropocene. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2(4), 210-218.
- Rawls, W., Pachepsky, Y., Ritchie, J., Sobecki, T., Bloodworth, H. (2003). Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*, 116(1-2), 61-76.
- Raymond, P., Cole, J. (2003). Increase in the export of alkalinity from North America's largest river. *Science*, 301(5629), 88-91.
- Rees, R. M., Parker, J. P. (2005). Filtration increases the correlation between water extractable organic carbon and soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(12), 2240-2248.
- Schmidt, M., et al. (2011). Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*, 478, 49-56.
- Scholes, R., Noble, I. (2001). Storing carbon on land. *Science*, 294 (5544), 1012-1013.
- Schumacher, B. A. (2002). *Methods for the Determination of Total Organic Carbon (TOC) in Soils and Sediments*. United States Environmental Protection Agency Environmental Sciences Division National Exposure Research Laboratory.
- Selim, H., Newman, A., Zhang, L., Arceneaux, A., Tubaña, B., Gaston, L. (2016). Distributions of organic carbon and related parameters in a Louisiana sugarcane soil. *Soil and Tillage Research*, 155, 401-411.

- Šeremešić, S., Milošev, D., Sekulić, P., Nešić, L., Ćirić, V. (2013). Total and hot-water extractable carbon relationship in Chernozem soil under different cropping systems and land use. *Journal of Central European Agriculture*, 14(4), 1479-1487.
- Singh, G., Abrol, I., Cheema, S. (1988). Agroforestry on alkali soil: Effect of planting methods and amendments on initial growth, biomass accumulation and chemical composition of mesquite (*Prosopis juliflora* (SW) DC) with inter-space planted with and without Karnal gras. *Agroforestry Systems*, 7(2), 135-160.
- Six, J., Elliott, E., Paustian, K. (1999). Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Science Society of America Journal*, 63(5), 1350-1358.
- Slepetiene, A., Slepetys, J. (2005). Status of humus in soil under various long-term tillage systems. *Geoderma*, 127(3-4), 207-215.
- Strosser, E. (2010). Methods for determination of labile soil organic matter: an overview. *Journal of Agrobiology*, 27(2), 49-60.
- Tan, W., Zhang, R., Cao, H., Huang, C., Yang, Q., Wang, M., Koopal, L. (2014). Soil inorganic carbon stock under different soil types and land uses on the Loess Plateau region of China. *Catena*, 121, 22-30.
- Tolunay, D. (2011). Total carbon stocks and carbon accumulation in living tree biomass in forest ecosystems of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35(3), 265-279.
- Tyrrell, T. (2011). Anthropogenic modification of the oceans. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1938), 887-908.
- Ussiri, D., Lal, R. (2017). Introduction to Global Carbon Cycling: An Overview of the Global Carbon Cycle. *Carbon Sequestration for Climate Change Mitigation and Adaptation* içinde (61-76).
- Wang, Q., Wang, Y., Wang, Q., Liu, J. (2014). Impacts of 9 years of a new conservational agricultural management on soil organic carbon fractions. *Soil and Tillage Research*, 143, 1-6.
- Wang, S., Adhikari, K., Wang, Q., Jin, X., Li, H. (2018). Role of environmental variables in the spatial distribution of soil carbon (C), nitrogen (N), and C: N ratio from the

- northeastern coastal agroecosystems in China. *Ecological Indicators*, 84, 263-272.
- Wang, Y., Han, X., Jin, Z., Zhang, C., Fang, L. (2016). Soil organic carbon stocks in deep soils at a watershed scale on the Chinese Loess Plateau. *Soil Science Society of America Journal*, 80(1), 157-167.
- Ward, D., Mahowald, N., Kloster, S. (2014). Potential climate forcing of land use and land cover change. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(23), 12701-12724.
- Weigel, A., Eustice, T., Van Antwerpen, R., Naidoo, G., Schulz, E. (2011). Soil organic carbon (SOC) changes indicated by hot water extractable carbon (HWEC). *Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association* içinde (210-222).
- Weil, R., Islam, K., Stine, M., Gruver, J., Samson-Liebig, S. (2003). Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture*, 18(1), 3-17.
- Wilson, G., Rice, C., Rillig, M., Springer, A., Hartnett, D. (2009). Soil aggregation and carbon sequestration are tightly correlated with the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi: results from long-term field experiments. *Ecology Letters*, 12(5), 452-461.
- Wu, G., Liu, Y., Tian, F., Shi, Z. (2017). Legumes functional group promotes soil organic carbon and nitrogen storage by increasing plant diversity. *Land Degradation Development*, 28(4), 1336-1344.
- Wu, H., Guo, Z., Gao, Q., Peng, C. (2009). Distribution of soil inorganic carbon storage and its changes due to agricultural land use activity in China. *Agriculture, Ecosystems Environment*, 129(4), 413-421.
- Yadav, J., Singh, K. (1970). Tolerance of certain forest species to varying degree of salinity and alkali. *Indian Forester*, 96(8), 587-599.
- Zak, D., Pregitzer, K., Kubiske, M., Burton, A. (2011). Forest productivity under elevated CO₂ and O₃: positive feedbacks to soil N cycling sustain decade-long net primary productivity enhancement by CO₂. *Ecology letters*, 14(12), 1220-1226.
- Zeebe, R., Zachos, J., Caldeira, K., Tyrrell, T. (2008). Carbon emissions and acidification. *Science*, 321(5885), 51-52.

- Zhao, W., Zhang, R., Huang, C., Wang, B., Cao, H., Koopal, L., Tan, W. (2016). Effect of different vegetation cover on the vertical distribution of soil organic and inorganic carbon in the Zhifanggou Watershed on the loess plateau. *Catena*, 139, 191-198.
- Zornoza, R., Muñoz, M. (2017). Soil Management and Climate Change: Effects on Organic Carbon, Nitrogen Dynamics, and Greenhouse Gas Emissions: Concluding Remarks. *Soil Management and Climate Change: Effects on Organic Carbon, Nitrogen Dynamics, and Greenhouse Gas Emissions* içinde (369-371).
- Zou, X., Ruan, H., Fu, Y., Yang, X., Sha, L. (2005). Estimating soil labile organic carbon and potential turnover rates using a sequential fumigation–incubation procedure. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(10), 1923-1928.
- http-1:** <https://eo.ucar.edu/kids/green/cycles6.htm> (Erişim tarihi: 17.07.2019)