



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



[YÜKSEK LİSANS TEZİ]

[TARIM İÇİN VERİMLİ BAZI TOPRAK ÇEŞİTLERİNİN
MİKROBİYATA GENOMLARININ KARŞILAŞTIRMALI
ANALİZLERİ]

[Seyran HÜSEYNLİ]

[Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı]

[Moleküler Biyoteknoloji ve Genetik Programı]

DANIŞMAN
[Prof. Dr.] [Ercan ARICAN]

[Aralık, 2024]

İSTANBUL

Bu çalışma, [15.01.2025] tarihinde aşağıdaki jüri tarafından [Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı], [Moleküler Biyoteknoloji ve Genetik Programı]nda [Yüksek Lisans tezi] olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

[Prof. Dr.] [Ercan ARICAN] (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
[Fen Fakültesi]

[Doç. Dr.] [MURAT PEKMEZ]
[İstanbul Üniversitesi]
[Fen Fakültesi]

[Prof. Dr.] [VEYSEL SABRİ HANÇER]
[İstinye Üniversitesi]
[Tıp Fakültesi]

İntihal Programı Beyanı

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Proje Destekleri

[Bu tez, destek almamıştır.]



ÖNSÖZ

Bu tez çalışması boyunca bilgi ve deneyimleriyle beni destekleyen ve yönlendiren tez danışmanım değerli hocam Prof. Dr. Ercan ARICAN'a teşekkürlerimi sunarım. Yüksek Lisans eğitimim boyunca emeği geçen bütün hocalarıma teşekkürü borç bilirim. Her alanda tercihlerime güvenip, bana sonsuz destek veren aileme minnettarlığımı sunarım.]

ARALIK 2024

[Seyran HÜSEYNLİ]

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ.....	viii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xii
1.1. ARAŞTIRMANIN KONUSU.....	1
1.2. ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ.....	3
2. GENEL KISIMLAR.....	6
2.1. TOPRAK.....	6
2.2. TOPRAK TÜRLERİ.....	12
2.3. TOPRAK SAĞLIĞINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	17
2.4. TOPRAKLARIN ÖNEMİ VE KORUNMASI.....	19
2.4.1. Toprağın Ekosistem Hizmetleri ve İşlevleri.....	19
2.4.2. Toprağın Biyojeokimyasal Döngülerdeki Yeri.....	20
2.4.3. İklim Değişikliği.....	25
2.4.4. Gıda Güvenliği, Beslenme ve Tarımın Sürdürülebilirliği.....	26
2.5: TARIM TOPRAKLARININ DURUMU.....	27
2.5.1. Türkiye'deki Tarım Toprakları.....	27
2.5.2. Azerbaycan'daki Tarım Toprakları.....	30
2.5.3. Dünyadaki Tarım Toprakları.....	31
2.6. TOPRAK VERİMLİLİĞİ.....	33
2.7. VERİMLİ VE VERİMSİZ TOPRAK MİKROBİYOTALARI.....	34
2.7.2. Verimsiz Toprak Mikrobiyotaları.....	36
2.8. METAGENOMİK KAVRAMI.....	38
2.8.1. Metagenomiğin Amacı.....	40
2.8.2. Metagenomiğin Uygulama Alanları.....	40
2.9. İLGİLİ ARAŞTIRMALAR.....	42
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	48

3.1. MATERYAL.....	48
3.2. YÖNTEM.....	57
4.BULGULAR.....	59
4.1. BİYOİNFORMATİK ANALİZ SONUÇLARI: VERİMLİ VE VERİMSİZ TOPRAKLARDAKİ MİKROORGANİZMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI.....	59
5.1.1. Genetik Çeşitlilik Analizi (Alpha Diversity)	62
5.1.2. Fonksiyonel Genom Karşılaştırması (Functional Potential Analysis).....	64
5.1.3 . Beta Diversity Analizi	67
5.1.4. Pathway Analizi	69
5.1.5. Ortama Bağlı Stres Gen Analizleri.....	70
5.TARTIŞMA VE SONUÇ.....	72
KAYNAKLAR.....	82
ÖZGEÇMİŞ.....	90

]

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Toprak Organik Maddesi Bileşenleri.....	17
Şekil 2.2: Karbon Döngüsü.....	21
Şekil 2.3: Türkiye Toprak Organik Karbonu Stok Haritası (Kaynak: Çem, 2018)	29
Şekil 2.4: Küresel Arazi Örtüsü (Kaynak: Latham ve diğ., 2014).....	32
Şekil 4.1: Verimsiz Topraklardaki Mikroorganizmalar Dağılımı Error! Bookmark not defined.	
Şekil 4.2: Verimli ve Verimsiz Topraktaki Mikroorganizma Türlerinin Dağılımı..... Error! Bookmark not defined.	
Şekil 4.3: Türlerin Zenginliğinin Karşılaştırması	Error! Bookmark not defined.
Şekil 4.4: Shannon Çeşitlilik ve Simpsın Baskınlık İndeksi... Error! Bookmark not defined.	
Şekil 5.1: Fonksiyonel Genom Karşılaştırması	Error! Bookmark not defined.
Şekil 5.2: NDMS Grafiği.....	Error! Bookmark not defined.

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo2.1: Toprağın Ekosistem Hizmetleri Ve İşlevleri	20
Tablo 2.2: Toprağın Su Döngüsündeki Rollerini.....	25
Tablo 2.3: Türkiye’de Arazi Kullanım Çeşitlerine Göre Hektar Başına Karbon Stok Miktarı.....	29
Tablo 3.1: Verimli Toprak Mikrobiyota Örneklem Grubu (Calderon ve diğ., 2017; Maron ve diğ.2018 , Liv d, 2021 ; Le Roux ve diğ., 2023; Yang ve diğ., 2022):	51
Tablo 3.2: Verimsiz Toprak Mikrobiyota Örneklem Grubu (Calderon ve diğ., 2017; Maron ve diğ.2018 , Liv d, 2021; Le Roux ve diğ., 2023; Yang ve diğ., 2022):	56
Tablo 4.1: Verimli Topraklardaki Mikroorganizmalar	59
Tablo 4.2: Verimsiz Topraklardaki Mikroorganizmalar	60

KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklama
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
IFAD	: Uluslararası Tarımsal Kalkınma Fonu
UNICEF	: Birleşmiş Milletler Çocuklara Yardım Fonu
WFP	: Dünya Gıda Programı
DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü



ÖZET

[TARIM İÇİN VERİMLİ BAZI TOPRAK ÇEŞİTLERİNİN MİKROBİYATA GENOMLARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZLERİ]

[YÜKSEK LİSANS TEZİ]

[Seyran HÜSEYNLİ]

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

[Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı]

Danışman : [Prof. Dr.] [Ercan ARICAN]

Bu çalışmada, farklı tarımsal verimlilik seviyelerine sahip topraklardaki mikrobiyal toplulukların genetik çeşitliliği ve fonksiyonel potansiyeli biyoenformatik analizlerle değerlendirilmiştir. Verimli ve verimsiz topraklardan elde edilen mikrobiyota örnekleri literatür taraması sonucunda belirlenmiştir. Araştırma, hem tarımsal sürdürülebilirlik açısından önemli mikrobiyal fonksiyonların belirlenmesi hem de düşük verimliliğe sahip topraklarda iyileştirme stratejileri geliştirilmesi açısından katkı sunmayı amaçlamaktadır. Çalışmanın ilk aşamasında, verimli ve verimsiz topraklarda bulunan mikrobiyal toplulukların alfa çeşitliliği değerlendirilmiştir. Bu analiz, her iki toprak türündeki mikrobiyal zenginlik ve tür çeşitliliğini belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, verimli toprakların mikrobiyal çeşitlilik açısından daha yüksek bir zenginlik gösterdiğini, bu durumun toprak sağlığı ve bitki gelişimi üzerinde olumlu etkiler yarattığını ortaya koymuştur. Buna karşın, verimsiz topraklarda düşük genetik çeşitlilik gözlemlenmiş ve bu durum, çevresel stres faktörlerine karşı adaptasyon yeteneğinin sınırlı olduğunu düşündürmektedir. Bu aşamada, verimli ve verimsiz topraklarda yer alan

mikroorganizmaların fonksiyonel potansiyelleri karşılaştırılmıştır. Biyoenformatik analizler sonucunda: Verimli topraklarda karbon, azot ve fosfor metabolizması ile ilişkili genlerin daha yüksek oranda bulunduğu ve verimsiz topraklarda ise stres yanıtı ve direnç mekanizmaları ile ilgili genlerin ön planda olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılık, verimli toprakların biyolojik süreçler açısından daha aktif olduğunu, verimsiz topraklarda ise stres toleransı ile ilişkili işlevlerin baskın hale geldiğini göstermektedir. Mikrobiyal topluluk yapılarının toprak tipine bağlı olarak nasıl farklılaştığını belirlemek amacıyla beta çeşitliliği analiz edilmiştir. Sonuçlar, verimli ve verimsiz topraklardaki mikrobiyota kompozisyonlarının istatistiksel olarak anlamlı şekilde farklılaştığını göstermiştir. Verimli topraklarda simbiyotik ve mutualistik mikroorganizmalar ağırlıkta iken, verimsiz topraklarda daha çok patojenik ve stres toleransına sahip türlerin baskın olduğu gözlemlenmiştir. Mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen biyokimyasal yolların (pathway) belirlenmesi için yapılan analizler, her iki toprak türü arasındaki metabolik farklılıkları ortaya koymuştur. Verimli topraklarda enerji metabolizması, fotosentez, azot fiksasyonu ve karbon döngüsü ile ilgili yolların daha aktif olduğu Verimsiz topraklarda ise oksidatif stres, DNA onarımı ve ağır metal detoksifikasyonu ile ilgili yolların daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, çevresel stres faktörlerinin verimsiz toprak mikrobiyotası üzerinde belirleyici bir etkisi olduğunu ve bu tür topraklarda stresle başa çıkmak için daha fazla metabolik enerji harcandığını göstermektedir. Toprak mikrobiyotasının çevresel streslere adaptasyonunda rol oynayan genlerin analizi, verimli ve verimsiz topraklar arasındaki önemli farklılıkları ortaya koymuştur. Verimli topraklarda, strese toleranslı genlerin düşük seviyede ifade edilmesi, bu tür toprakların daha stabil bir çevre sağladığını işaret etmektedir. Verimsiz topraklarda ise stresle ilgili genlerin daha yüksek ifade seviyelerine sahip olduğu ve mikroorganizmaların düşük pH, besin kıtlığı ve ağır metal kirliliği gibi stres faktörlerine karşı direnç geliştirdiği tespit edilmiştir. Bu çalışma, verimli ve verimsiz topraklardaki mikrobiyal toplulukların genetik ve fonksiyonel özelliklerini karşılaştırarak, çevresel stres faktörlerinin mikrobiyal çeşitlilik ve işlev üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, tarımsal verimliliğin artırılması ve verimsiz toprakların rehabilitasyonu için mikrobiyal toplulukların hedeflenebileceği stratejilerin geliştirilmesine katkı sunmaktadır.

Aralık 2024, [105] sayfa.

Anahtar kelimeler: [Toprak, Tarım, Metagenomik, Verim.]

SUMMARY

[COMPARATIVE ANALYSIS OF MICROBIOTA GENOMES OF SOME PRODUCTIVE SOIL VARIETIES FOR AGRICULTURE]

[M.Sc. THESIS]

[Seyran HÜSEYNLİ]

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

[Department of Molecular Biology and Genetics]

Supervisor : [Prof. Dr.] [Ercan ARICAN]

This study evaluates the genetic diversity and functional potential of microbial communities in soils with varying levels of agricultural productivity through bioinformatics analyses. Microbiota samples from fertile and infertile soils were selected based on a literature review. The research aims to contribute to the identification of microbial functions critical for agricultural sustainability and the development of strategies to improve low-productivity soils. In the first phase of the study, the alpha diversity of microbial communities in both fertile and infertile soils was assessed. This analysis was conducted to determine microbial richness and species diversity in each soil type. The results revealed that fertile soils exhibited higher microbial diversity, positively influencing soil health and plant growth. In contrast, infertile soils showed lower genetic diversity, suggesting a limited capacity to adapt to environmental stress factors.

At this stage, the functional potentials of microorganisms in fertile and infertile soils were compared. Bioinformatics analyses demonstrated that genes associated with carbon, nitrogen, and phosphorus metabolism were more prevalent in fertile soils, whereas genes related to stress response and resistance mechanisms were dominant in infertile soils. This difference indicates that fertile soils are more biologically active, while stress tolerance-related functions prevail in infertile soils. To determine how microbial community structures differ according to soil type, beta diversity was analyzed. The results showed statistically significant differences in microbiota compositions between fertile and infertile soils. Symbiotic and mutualistic microorganisms were more abundant in fertile soils, whereas pathogenic and stress-tolerant species dominated in infertile soils. Pathway analyses to identify biochemical processes performed by microorganisms revealed metabolic differences between the two soil types. Fertile soils exhibited more active pathways related to energy metabolism, photosynthesis, nitrogen fixation, and the carbon cycle. In infertile soils, pathways associated with oxidative stress, DNA repair, and heavy metal detoxification were more pronounced. These findings suggest that environmental stress factors have a significant impact on the microbiota of infertile soils, requiring more metabolic energy to cope with stress. The analysis of genes involved in the adaptation of soil microbiota to environmental stresses highlighted key differences between fertile and infertile soils. In fertile soils, stress-tolerant genes were expressed at lower levels, indicating a more stable environment. In infertile soils, stress-related genes were expressed at higher levels, reflecting microbial adaptation to stress factors such as low pH, nutrient scarcity, and heavy metal contamination. This study highlights the impact of environmental stress factors on microbial diversity and function by comparing the genetic and functional characteristics of microbial communities in fertile and infertile soils. The findings provide valuable insights for enhancing agricultural productivity and rehabilitating low-productivity soils.

March 2024, [105] pages.

Keywords: [Soil, Agriculture, Metagenomics, Yield]

1.GİRİŞ

1.1. ARAŞTIRMANIN KONUSU

Toprak; kayaların ve organik materyallerin çeşitli çaptaki ayrışma ve parçalanma ürünlerinden meydana gelen, içerisinde türlü canlılar alemi barındıran ve bitkilere durak ve besin kaynağı olarak vazife gören temel maddedir (Oğuz, 2008, s.2). Topraklar, yerkürenin en üst bölümünde bulunan kayalar, mineraller ve organik maddelerin çeşitli doğal unsurların etkisiyle parçalanması, ayrışması ve ayrılan bazı ürünlerin tekrar bir araya gelerek yeni bileşimler oluşturması nihayetinde ana materyal üzerinde gelişmektedirler. Oluşan topraklar çoğu zaman başlangıçta kendilerini meydana getiren ana materyalin etkisi altındadırlar. Toprağın verimliliği ise ana materyalin türü ile doğrudan alakalıdır. Fakat söz konusu alaka, süreç içinde iklimin de etkisi ile giderek zayıflamaktadır. Bu sebeple ana materyal, toprak oluşumunun ilk evrelerinde aktif, ileri evrelerinde ise pasif bir unsurdur.

Ana materyal, toprak türünün belirlenmesindeki temel etkidir. Bu etkenle birlikte oluşum sürecinin akabinde çeşitli toprak türleri meydana gelmektedir. Söz konusu türlerin bazıları tarım için oldukça elverişli ve de verimli iken bazıları tarıma uygun olmayan, verimsiz bir yapıya sahiptir. Örneğin loam toprak, başta tarım ve bahçivanlık olmak üzere bitki yetiştiriciliğinde en sık tercih edilen toprak türlerinin başında gelmektedir. Çünkü bu tür toprak, toprağın üç ana bileşeni olan kum, silt ve kili aynı anda bünyesinde barındırmaktadır. Bu ise toprağın su tutma kapasitesini, besin maddelerinin tutulmasını ve hava dolaşımını optimize eden bir nitelik olarak bitkilerin sağlıklı ve verimli bir şekilde büyümesini sağlamaktadır (Turan, 2019, s.527). Loam toprağın yanı sıra killi ve podzolik topraklar da bitki yetiştiriciliği için en çok tercih edilen toprak türleri arasında yer almaktadır. Toprakların bahsi geçen özelliklerinin belirlenmesi ise söz konusu toprakların mikroorganizmalarının genomlarının incelenmesi ile mümkün olmaktadır. Bu inceleme ise toprak metagenomik model mikroorganizmalarının genom verilerinin biyoinformatik analizinin yapılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda bu çalışma, **verimli** ve **verimsiz** topraklardaki mikrobiyal toplulukların genetik çeşitliliği ve fonksiyonel potansiyelini analiz ederek, tarımsal verimlilik ile mikrobiyal çeşitlilik arasındaki ilişkiyi ortaya koymayı amaçlamaktadır. Tarımsal faaliyetler ve çevresel koşullar, toprak mikrobiyotasının yapısını ve işlevselliğini önemli ölçüde etkiler. Bu bağlamda, çalışmanın temel konusu, farklı verimlilik seviyelerine sahip topraklarda

mikrobiyal toplulukların çevresel stres faktörlerine adaptasyon mekanizmalarının incelenmesidir.

Çalışmanın Hedefleri:

- 1. Genetik Çeşitlilik ve Mikrobiyal Zenginliğin İncelenmesi:** Verimli ve verimsiz topraklarda yaşayan mikroorganizmaların genetik çeşitliliğini ölçmek ve bu toplulukların zenginlik (species richness) ve çeşitlilik (species diversity) düzeylerini karşılaştırmak.
- 2. Fonksiyonel Genom Karşılaştırması:** Her iki toprak türündeki mikroorganizmaların genomik fonksiyonlarının belirlenmesi ve bu fonksiyonların tarımsal verimlilik üzerindeki etkilerinin analiz edilmesi.
- 3. Beta Çeşitlilik Analizi ile Mikrobiyal Topluluk Yapılarının Karşılaştırılması:** Toprak verimliliği ile mikrobiyal kompozisyon arasındaki farklılıkları belirlemek ve simbiyotik, mutualistik, patojenik veya stres toleransına sahip mikroorganizmaların dağılımını analiz etmek.
- 4. Biyokimyasal Yol (Pathway) Analizi:** Mikroorganizmaların farklı metabolik yollarının belirlenmesi ve bu yolların enerji metabolizması, azot döngüsü, karbon döngüsü, oksidatif stres yönetimi ve ağır metal detoksifikasyonu gibi kritik süreçlerdeki rolünün incelenmesi.
- 5. Çevresel Stres Genlerinin Analizi:** Mikrobiyal toplulukların çevresel stres faktörlerine (besin eksikliği, düşük pH, ağır metal kirliliği vb.) adaptasyonunda rol oynayan genlerin ekspresyon seviyelerinin belirlenmesi ve bu genlerin toprak sağlığı ve verimliliği ile ilişkisinin ortaya konulması.

Araştırmanın Bilimsel Önemi:

- Toprak Mikrobiyotasının Rolü:** Toprak mikrobiyotası, bitki büyümesi, besin döngüsü ve toprak sağlığı açısından kritik bir rol oynar. Bu çalışmada, tarımsal verimliliğin yüksek olduğu topraklardaki mikrobiyal çeşitliliğin, ekosistem işlevselliğini nasıl iyileştirdiği analiz edilmektedir.

- **Çevresel Stres ve Toprak Degradasyonu:** Verimsiz topraklar, genellikle ağır metal kirliliği, asidifikasyon, tuzluluk veya besin yetersizliği gibi çevresel stres faktörlerine maruz kalır. Çalışma, bu faktörlerin mikrobiyal topluluklar üzerindeki etkisini değerlendirerek, verimsiz toprakların biyolojik rehabilitasyonu için potansiyel stratejiler sunmaktadır.
- **Tarımsal Sürdürülebilirlik:** Verimli toprakların biyolojik çeşitliliği ve işlevselliği üzerine yapılan bu araştırma, tarımsal üretimde sürdürülebilirliğin artırılması ve verimsiz toprakların yeniden tarıma kazandırılması için yol gösterici olacaktır.

Çalışmanın Uygulama Alanları:

- **Tarım ve Ekosistem Yönetimi:** Toprak kalitesinin artırılması, tarımsal üretimde mikrobiyal gübreler veya biyolojik iyileştiricilerin kullanılması ile tarımsal verimliliğin artırılmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesi.
- **Biyoenformatik ve Genomik Uygulamalar:** Bu çalışma, biyoenformatik araçlar kullanılarak mikrobiyal toplulukların derinlemesine analizini gerçekleştirerek, toprak mikrobiyotasının genetik potansiyelinin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır.

1.2. ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ

Literatürde toprak, tarım toprakları ve metagenomik konularının ele alındığı çok sayıda çalışma olduğu görülmektedir. Ancak detaylı bir literatür taraması nihayetinde elde edilen bilgilerden hareketle literatürde, tarıma elverişli toprakların mikrobiyaya genomlarının karşılaştırıldığı sınırlı sayıda çalışma olduğu görülmüştür. Araştırmanın bu yönüyle özgün bir konuyu içerdiği ve böylelikle literatüre katkı sağlayarak, gelecekteki benzer konulu çalışmalara ışık tutacağı öngörülmektedir.

Toprak mikrobiyotası, toprak ekosisteminin sürdürülebilirliği, tarımsal verimlilik ve bitki sağlığı üzerinde doğrudan etkili olan kritik bir bileşendir. Farklı verimlilik seviyelerine sahip topraklarda bulunan mikroorganizmaların genetik çeşitliliği ve fonksiyonel potansiyeli, toprak sağlığını ve ekosistem dengesini belirleyen temel unsurlardır. Bu nedenle, mikrobiyal toplulukların yapı ve işlevlerinin incelenmesi, tarım, çevre ve ekosistem yönetimi açısından büyük bir öneme sahiptir.

Bu çalışma özgünlük ve literatüre katkı dışında bir çok açıdan daha önemli olduğu noktalar aşağıda belirtilmiştir:

1. Toprak Sağlığı ve Tarımsal Verimlilik Arasındaki İlişkinin Aydınlatılması: Verimli ve verimsiz topraklardaki mikrobiyal toplulukların genetik ve fonksiyonel farklılıklarının belirlenmesi, toprak sağlığı ve tarımsal verimlilik arasındaki ilişkiyi anlamaya yönelik önemli bilgiler sunmaktadır. Bu bağlamda, özellikle verimsiz toprakların biyolojik ve kimyasal iyileştirilmesi için mikrobiyal çeşitlilik ve işlevsel potansiyelin artırılması hedeflenmektedir.

2. Çevresel Stres Faktörlerine Adaptasyon Mekanizmalarının İncelenmesi: Toprak mikrobiyotası, düşük pH, besin kıtlığı, tuzluluk ve ağır metal kirliliği gibi çevresel stres faktörlerine maruz kalmaktadır. Bu çalışma, çevresel streslere karşı mikrobiyal adaptasyon mekanizmalarını ve stres toleransını artıran genlerin ifade seviyelerini inceleyerek, verimsiz toprakların rehabilitasyonu için yeni stratejilerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

3. Biyoformatik Analizlerin Kullanımı ile Derinlemesine İnceleme: Günümüzde biyoformatik araçlar, mikrobiyal toplulukların genetik ve işlevsel çeşitliliğini belirlemek için güçlü bir araç sunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan **genetik çeşitlilik analizi (alpha ve beta diversity), fonksiyonel genom karşılaştırması ve pathway analizi** gibi ileri düzey biyoformatik teknikler, toprak mikrobiyotası hakkında kapsamlı ve derinlemesine bilgi sağlamaktadır.

4. Tarımsal Sürdürülebilirliğin Artırılmasına Katkı: Mikrobiyal toplulukların yapısal ve işlevsel özelliklerinin anlaşılması, tarımsal üretimde sürdürülebilirlik ve verimliliği artırmak için biyolojik iyileştiricilerin (biyo-gübreler, mikrobiyal inokulantlar) kullanılmasına yönelik stratejiler geliştirilmesini desteklemektedir. Ayrıca, düşük verimliliğe sahip toprakların tarıma yeniden kazandırılması için biyolojik müdahalelerin önemini vurgulamaktadır.

5. Ekosistem Hizmetlerine Katkı: Toprak mikrobiyotası, karbon ve azot döngüsü, organik madde mineralizasyonu ve azot fiksasyonu gibi temel ekosistem hizmetlerini sağlayarak, doğal ekosistemlerin sürdürülebilirliğine önemli katkılar sunmaktadır. Bu çalışma, verimli ve verimsiz topraklardaki mikrobiyal toplulukların bu hizmetlere nasıl katkıda bulunduğunu değerlendirerek, tarım ve ekosistem yönetimi için yenilikçi yaklaşımlar sunmaktadır.

Bu nedenlerle, bu araştırma yalnızca tarımsal üretim alanında değil, aynı zamanda çevre bilimi, ekoloji ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda da önemli bir bilimsel katkı sağlamaktadır. Çalışma sonuçları, toprak sağlığının iyileştirilmesi ve tarımsal sürdürülebilirliğin artırılması için geliştirilecek stratejilere rehberlik edebilir.



2. GENEL KISIMLAR

2.1. TOPRAK

Yer kabuğu toprağı meydana getiren kökendir. Yer kabuğunda bulunan birincil kayaların parçalanıp dağılmaları nihayetinde toprak ana materyali olarak bilinen madde ortaya çıkmaktadır. Toprak ana materyalini oluşturan kayalara ise ana kayalar ismi verilmektedir. Bu kayalar literatürde birincil kayalar olarak yer alırken birincil kayaların dağılıp parçalanmasından oluşan kayalara ikincil kayalar olarak adlandırılmaktadır. Toprak ana materyali temelde 4 sınıflandırmaya tabi tutulmaktadır ve bunlar (Dinç ve diğ., 1999, s.41);

- Volkanik kül ve tebeşir gibi yumuşak kayalardan meydana gelenler,
- Püskürük, çökelti ya da metomorfik gibi sert kayalardan meydana gelenler
- Toprakları oluşturma üzere parçalanıp dağılmadan önce ilk buldukları yerlerden taşınmış olanlar
- Peat gibi organik materyallerden oluşanlar.

Toprak, kayaların ve organik maddelerin zaman içerisinde farklı kuvvetler tarafından parçalanmasıyla oluşan bir yaşam alanıdır. Çok çeşitli organizmaları destekler, su ve besin sağlar ve aynı zamanda bitkiler için durak görevi görür. Kil, silt ve kum toprağın temel bileşenleridir. Boyutları değişkenlik gösteren bu parçacıkların miktarları toprağın iskeletini oluşturur (Oğuz, 2008).

Sulama sistemlerinin etkin bir şekilde planlanması ve işletilmesi, suyun topraktaki hareketini ve tutulmasını yöneten nedenlerin ve süreçlerin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını gerektirir. Sulanan alanlarda çok önemli olan su ve toprak bağlantıları, bitkiye faydalı olan suyun kök bölgesinde tutulmasının yanı sıra suyun toprak içindeki çeşitli hareket ve akımlarını da içerir. Toprakta suyun buharlaşması tuzluluk ve alkaliliğin varlığına yol açar, bu da su ve toprak arasındaki ilişkinin önemini vurgular. Su ve toprak arasındaki karşılıklı ilişkiler, toprak ve suyun belirli fiziksel özelliklerinden etkilenen karşılıklı etkileşimlerinden kaynaklanmaktadır (Delibaş, 1994).

Yerinde Oluşmuş Ana materyaller

Kayaçlar

a) Püskürükler

Püskürmeler, erimiş lavların ya yerin derinliklerinde (iç patlamalar) ya da yerkabuğunun derinliklerinde (dış patlamalar) katılaşmasıyla meydana gelir (Özbek ve diğ., 1993).

Bazalt

Kaya, koyu rengi ve ince dokusuyla karakterize edilmektedir (Seyrek, 1999). Bazalt lavların soğuması sırasında içerdikleri gazlar açığa çıkarak dikey çizgiler şeklinde boşlukların oluşmasına neden olmaktadır. Ancak lavlar birleştiğinde alttakiler kaybolursa da üsttekiler varlığını sürdürmektedir. Bazaltlar, gazların salındığı yön olan düşey eksen boyunca kırılmaya eğilimli olma özelliğine sahiptir (Önem, 1997). Kuvarsın bulunmaması nedeniyle bu maddenin dağılması killi toprakların oluşmasına yol açmaktadır. Birand'a (1949) göre önemli miktarda demir, manganez, magnezyum, potasyum, fosfor ve kalsiyum içerirler.

Bazalt Tüfü Volkanik Tüfler

Volkanik tüf, volkanik küllerin birikerek taşa dönüşmesiyle oluşan bir kaya türüdür. Bu küller volkanik menfezlerden veya derin tektonik çatlaklardan gelir ve lavdan önce, sonra veya lavla aynı zamanda oluşabilir (Önem, 1997). Bu terim 1997 yılında Önem tarafından tanımlanmıştır. Kimyasal bileşimine göre bazalt, andezit, riyoilit, dazit veya trakit özelliklerini gösterir (Sayın, 1999). Magmatik tüflerin dağılma kapasitesi yüksektir ve oldukça verimli topraklar oluşturma kapasitesine sahiptirler. Tüflerin çökelişi, yüksek cevher içeriği, gözenekli yapısı ve dağılma kolaylığı nedeniyle mineral bakımından zengindir. İçerdikleri hava nedeniyle buharlaşmayı engellerler. Bu bölgedeki toprak hafifçe karıştırıldığında nemin varlığı görünür hale gelmektedir (Birand, 1949).

Ofiyolit

Mafik ve ultramafik kayaçların eşsiz bir topluluğudur. Ofiyolitler iki ana kategoriye ayrılabilir. Başlangıç kategorisi deformasyona uğramış ve bariz magmatik kökenler sergileyen kayalardan oluşur. Küçük yapılarıdır. Metamorfizma yaşamamışlardır. Metamorfik ofiyolitler olarak

bilinen ikinci grup, bölgesel metamorfizma nedeniyle önemli değişime uğramış, bu durum yoğun yeniden kristalleşmeye ve orijinal özelliklerinin kaybolmasına neden olmuştur. Bu türler magmatik kökenleri konusunda şüphe uyandıracak derecede deformasyona uğramıştır (Uz, 1992).

b) Tortul Kayaçlar

Volkanların ve diğer kayaların parçalanması, bunların daha kolay çözünebilen bileşenlerinin çözünmesine yol açar ve bunlar daha sonra iyonlar veya moleküller halinde su yoluyla öncelikle göllere ve denizlere taşınır. Canlı organizmalar bu maddeleri iskelet yapılarını ve kabuklarını oluşturmak için kullanır ve karbonat kayalarında görülen biyojenik birikintilerin oluşmasına katkıda bulunur. Ayrıca bu maddelerin bir kısmı çözünürlüklerindeki değişiklikler nedeniyle salınmaktadır (Özbek ve diğ., 1993).

Kalker (Kireçtaşı)

Kireçtaşı, geniş uygulama alanlarına sahip ve geniş bölgelerde oluşan oldukça önemli bir tortul kayadır. Madde kalsiyum karbonattan (CaCO_3) oluşur. Sertlik ölçeğinde 3 derecesine sahiptir ve yoğunluğu $2,7 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Bu özelliklerinden dolayı kimyasal reaksiyona girmesi, kırılması, ufalanması, kısacası kullanım için çok idealdir. Saf kalsiyum karbonat doğası gereği beyaz ve şeffaf olmasına rağmen, minerallerin ve yabancı maddelerin varlığı nedeniyle görünümü önemli ölçüde değişebilir. Ancak kül grisi hakim renktir (Önem, 1997).

Kireçtaşı tarımda da önemli bir rol oynar. Bu maddelerden elde edilen topraklar alkali doğasını evrensel olarak korur. Yağışın fazla olduğu bölgelerde bu sorunu çözmek için toprağa kireç uygulanır (Birand, 1949). Buğday, mısır ve yonca ekimi sırasında toprakta tükenen kalsiyum ve magnezyum seviyelerinin yeniden kazanılması için bu tarım arazilerinin kalsiyum karbonat ve magnezyum karbonatla desteklenmesi zorunludur (Önem, 1997).

Kireçli topraklarda bitkiler çoğunlukla kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve potasyum (K) absorbe edemezler. Çukurova'da geçiş alanlarında sulu koşullarda magnezyum noksanlığı belirtilerinin ortaya çıkışı özellikle pamuk bitkilerinde çiçeklenme döneminden başlayarak belirgindir (Atik, 1987).

Marn

Tipik bir marn oluşumunda kireçtaşı-kil oranı %35-65'tir. Basitçe söylemek gerekirse, ikisinden biri oranında %35'ten %65'e bir kayma sergilemektedir. Önem'e (1997) göre Marl'ın hakim tonları beyaz, gri ve kahverengi olmakla birlikte kırmızı ve siyahın da oluşumları vardır. Marnların ayrışması oldukça zengin toprakların oluşmasına neden olmaktadır. Hafif dokulu toprakların ağırlığını arttırmak için marn kullanılabilir. Yağışın yüksek olduğu bölgelerde asitliği gidermek için toprağın içine dahil edilmektedir (Birand, 1949).

Taşınmış Ana materyaller

Aluviyal

Bu topraklar, nehirlerin taşıdığı ve tortu biriktirdiği yerlerde, özellikle birikim konilerinde ve yelpazelerde, suyun yavaşladığı taşkın yataklarında ve tarihi dere yataklarında bulunur. Ayrıca dağlar ve ovalar arasında uzanan piedmont veya bajada bölgelerinde de bulunurlar. Bu toprakların fiziksel ve kimyasal nitelikleri, alüvyonun oluştuğu veya bozulduğu bölgeden gelen ana materyalin özelliklerinden, taşıma ve birikim sırasında meydana gelen değişikliklerden etkilenmektedir. Alüvyonun bileşimi ana materyalin bileşimi tarafından belirlenir. Ana materyal kalkerli ise alüvyon da kalkerli olacaktır. Benzer şekilde ana materyalin killi, kumlu, koyu renkli veya açık renkli olması durumunda bu özellikler alüvyona da yansiyacaktır (Atalay, 1989).

Koluviyal

Kolüvyaller, yerçekimi ve yüzey suyunun birleşik kuvvetleri nedeniyle öncelikle tepelerin yamaçlarında biriken tortul çökeltilerden oluşur. Yer çekimi kuvvetinin oluşturduğu yer şekilleri olan yamaçlar, Dazla yamacının yamaçlarında hava koşulları nedeniyle ana kaya bloklarından kopmuş büyük, ayrı kaya parçalarından oluşur. Bu parçalar eğimin daha az dik olduğu bir koni şeklinde birikir. Taluslar öncelikle kaba malzemelerden oluşur ve çok az toprak oluşumuna sahiptir. Eğim hizasında çeşitli taş ve irili ufaklı kaya parçaları dizilir.

Kurak iklimlerde su, dağ eteklerindeki yüksek yamaçlardan alçak yamaçlara doğru aktığında kaba erozyon ürünlerini taşır ve bunları yüzeyde depolar. Bu ana materyaller oldukça geçirgendir ve köşeli taşlardan ve değişen boyutlardaki kaya parçalarından toprakla bir araya

gelerek oluşur. Orijinal konumlarında bulunan toprak ve ayrışmış kaya malzemelerine çok benzemektedirler (Dinç ve diğ., 1999).

Mineraller

Serpantin

Kayaçların ayrışması sürecinde, ortaya çıkan toprakta mineral bileşenlerin hem tükenmesi hem de kazanımı meydana gelmektedir. Ana materyalde bulunan mineraller, özellikle toprağın olgunlaşma aşaması boyunca önemli değişikliklere uğramaktadır. Kayaların mineralojik bileşimi toprağın özelliklerini etkiler (Atalay, 1989). Kayalarda bulunan farklı mineraller arasında, özellikle de tamamen gelişmiş bir toprak profilinde bulunan mineraller arasında ara bağlantılar mevcuttur. Bununla birlikte, mineral elementler ile iklim arasındaki kimyasal etkileşimler birbirini etkileyerek, toprak profilindeki elementler ile ana materyaldeki elementler arasında elementlerin veya mineral maddelerin değişen düzeylerde azalmasına, artmasına, eklenmesine ve kaybına neden olmaktadır. Ana materyalin ayrışması ve ardından toprak profilinin oluşturulması süreci boyunca, ana materyalde mevcut bazı minerallerin, özellikle toprak profilinin üst katmanlarında belirgin şekilde eksik olduğu gözlemlenmiştir. Kireçtaşı üzerinde oluşmasına rağmen kırmızı Akdeniz topraklarının kireç içermediği tespit edilmiştir (Atalay, 1973).

Kayaların bileşimi toprağın kimyasal verimliliğe sahip olup olmayacağını belirlemektedir. Bazaltik topraklarda Fe, Mg ve Ca'nın varlığı, sulama uygulandığında bu toprakların derinliğini ve verimliliğini önemli ölçüde etkileyecektir.

Topraklarda serpantin varlığı kısırlığa yol açar, bu da içerdikleri yüksek seviyedeki krom (Cr) ve nikelin (Ni) yanı sıra malzemenin düşük kalsiyum (Ca) içeriğinin toksik etkisine atfedilebilir. Kireçli topraklarda yüksek düzeyde kalsiyum ve magnezyum bulunmasına rağmen bitkilerde demir eksikliği (kloroz) görülebilir. Bunun nedeni büyük olasılıkla küçük kireç parçacıklarının bikarbonat iyonlarını çevreye salmasıdır.

Volkanik tüflerden oluşan topraklar yüksek potasyum içeriğine sahiptir. Bu gevşek malzemeler kolayca dağılır ve oldukça verimli topraklar oluşturur. Fosfor esas olarak topraktaki hidrosiapatit $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ bileşiminde bulunur. Bu mineral öncelikle bazaltik toprakların kum bileşeninde bulunur. Kireçli topraklar ağırlıklı olarak kalsiyum fosfat formunda fosfor

içerir (Derici, 1986), gübrelerden gelen fosfor ise öncelikle ince kireçte korunur (Gülüt ve Sayın, 1988). CaCO_3 'ün yüzeyinde tutulan veya ayrı bir fosfat minerali olarak çöktürülen fosfor, bitkiler için zararlı gibi görünse de, belirli bölgelerde toprağın pH'ını düşürmek için bu fosfat formunun erişilebilir olmasına gerçekten yardımcı olur. Kireçli topraklarda asitleştirici bileşenlerin oluşumu, fosfor minerallerinin çözünürlüğünü artırarak, fosforun çözünmesine ve bitkiler tarafından erişilebilir hale gelmesine olanak tanır. Kireçli topraklarda bitkilerde demir eksikliğinin varlığı, çözülmüş ince kireçteki kalsiyum ile organik maddedeki adsorpsiyon noktalarındaki demirli demir arasındaki rekabete bağlanabilir. Bunun sonucunda demir oksidasyona uğrayarak işlevsiz bir form haline gelmektedir (Sayın, 1999).

Ürünün optimum kalitesi ve miktarı, topraktaki bitki besin maddelerinin uygun oranlarda yeterli miktarda bulunmasına ve ayrıca toprağın fiziksel durumunun bitki büyümesine elverişli olmasına bağlıdır. Bitki gelişimini desteklemek için kimyasal ve toprak özellikleri tek başına yetersizdir.

Toprağın fiziksel verimliliği, boyutlarına, şekillerine ve su tutma kapasitelerine göre belirlenen toprak minerallerinden etkilenir. "Bitki kökleri, zengin kuvars, feldispat ve iri kalsit mineralleri içeren kumlu topraklarda gelişir. Ancak kumlu toprakların gevşek yapısı, yer çekimi nedeniyle suyun hızla akıp gitmesine olanak tanır ve minerallerin depoladığı su genellikle bitkinin beslenmesi için yetersiz olur. Dolayısıyla bu tür topraklarda yetişen bitkiler sık sulamaya ihtiyaç duyarlar. Ayrıca kimyasal ayrışma yoluyla toprak çözeltisine giren potasyum (K^+), kalsiyum (Ca^{++}) ve magnezyum (Mg^{++}) gibi iyonlar, gerekli besin maddelerini hızla topraktan uzaklaştırır. bitkiler için toprak sütunu içindeki hareketli ortamdan. Topraktaki kil minerallerinin konsantrasyonu arttıkça, bitkinin gereksinimlerine uygun olarak su ve havanın hareketi azalmaktadır. Bununla birlikte, topraktaki kil minerallerinin konsantrasyonu bunun ötesinde belli bir eşik değerinin aşılması, toprağın kısıtlayıcı fiziksel özelliklerinden dolayı bitki köklerinin büyümesini engeller, ayrıca bitkiye faydası olmayan kil minerallerinin tuttuğu su miktarı da artar. Kil bakımından zengin toprak nedeniyle katmanlı yapıya sahip mineraller çoğu zaman bağlantısız mikro deliklere neden olur ve bu da suyun dikey taşınmasını kısıtlamaktadır.

Toprakta sıklıkla oluşan bir mineral olan kalsit, birbirleriyle birleşme ve toplanma eğiliminde olan eşkenar dörtgen kristaller oluşturur. Bunlar, su ve hava akışını kolaylaştıran geçirgen bir ortam oluşturarak toprağın fiziksel verimliliğini artırır. Ayrıca ince kireç toprağa katıldığında çözünerek kalsiyum iyonlarını çevreye salar. Bu iyonlar kil parçacıklarıyla etkileşime girerek

onların bir araya toplanmasına ve fiziksel olarak uygun bir yapı oluşturmasına neden olmaktadır. Amorf demir ve alüminyum oksitlerden oluşan ince tabakalar kili sararak topaklanmayı teşvik eder ve toprağın fiziksel özelliklerini geliştirmektedir. Ancak bu minerallerin su tutma kapasitelerinin kil minerallerine göre sınırlı olması nedeniyle toprakta yaygın olarak bulunmaları önemli buharlaşma kayıplarına yol açmaktadır. Sonuç olarak kil içeriği yüksek görünen toprakların sık sık sulanması gerekmektedir (Sayın, 1999).

Azot, bitkilerin büyümesi ve tarımsal ürünün genel kalitesi ve miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahip olan çok önemli bir besin elementidir. Bitkilerin temel yapı taşları olan proteinlerin, enzimlerin, nükleik asitlerin, hormonların ve klorofilin önemli bir bileşenidir. Bununla birlikte, bu özel element, topraktaki sınırlı varlığı ve bitki büyümesini desteklemedeki sınırlı etkinliği (kullanım verimliliği) nedeniyle yaygın olarak tanınmaktadır. Nitrojen, önemli önemi ile kanıtlandığı gibi, tarımda oldukça değerlidir (Roemer ve Scheffer, 1959; Klapp, 1967; Amberger, 1969).

2.2. TOPRAK TÜRLERİ

Birkaç milimetreden birkaç metreye kadar uzanan toprak yüzeyi kaplıdır. Çeşitli kayaların ve biyolojik maddelerin parçalanmasıyla oluşan, hem içinde hem de yüzeyinde çok çeşitli canlı organizmaları kapsayan; Karada yaşayan bitkiler için dinlenme noktası ve beslenme sağlayıcısı olarak hizmet eder; Belirli miktarda su ve havadan oluşan dünyanın karasallaşma süreci, canlı, dinamik ve üç boyutlu bir varlığın ortaya çıkmasını sağlar. Bu varlık, iklimin, canlı organizmaların ve topografyanın çeşitli zaman dilimlerindeki birleşik etkileriyle oluşur. Genellikle birden fazla katmandan oluşmaktadır (Sağlam ve diğ., 1993).

Araştırmacılar, toprak oluşumunun doğal sürecini değiştirmenin mümkün olmadığını ve teknolojik yollarla yapay olarak üretilemeyeceğini ileri sürmüşlerdir. Ayrıca toprak kaybı durumunda bunun başka bir kaynakla ikame edilmesi mümkün değildir. Yapılan araştırmalara göre bir parmak kalınlığındaki (2,5 cm) toprak tabakasının oluşması yaklaşık 300 ila 1000 yıl sürmektedir (Anonim, 1980).

Gelişmesi birkaç yıl alan topraklardan etkin bir şekilde yararlanmak için hem tarımsal hem de tarım dışı uygulamalarda kapsamlı toprak etüt araştırmalarının yapılması gerekmektedir. Bu, optimal bir arazi kullanım planı oluşturmak için hayati önem taşıyan toprağın belirli

niteliklerinin tanımlanmasını sağlayacaktır. Yapılacak ilk eylem, toprakların evrensel olarak kabul edilen bir standarda göre sınıflandırılmasıdır.

Buol ve diğ.. (1973), toprak sınıflandırmasının temel amacının, önemli toprak özelliklerinin korunmasını kolaylaştırmak, topraklarla ilgili mevcut bilgileri sentez yoluyla bütünleştirmek ve topraklar ile çevresi arasındaki bağlantıları kavramak olduğunu belirtmiştir. Aydınalp ve Aslan (2002), topraklar üzerine yapılan bilimsel araştırmaların bulgularını farklı ülkelere uygularken ve önemlerini değerlendirirken komplikasyonları önlemek için toprak sınıflandırmasının hayati önem taşıdığını ileri sürmektedir.

Toprak, evrensel olarak tanınan, doğası ve amacı konusunda çeşitli yorumlara konu olan, her yerde bulunan bir varlıktır. Toprağın yaygın varlığı, farklı toplumların farklılığı ve her bireyin toprakla olan doğal bağlantısı gibi faktörlerden dolayı toprakların nasıl sınıflandırılacağına dair çeşitli bakış açıları vardır. Birçok kişi için toprak tekil bir varlık olarak algılanırken, diğerleri için bereketli karanlık, nemli, kırmızı, kumlu, killi vb. gibi birden fazla türün birleşimi olarak kabul edilir. Bazı bireyler bu yöntemi kullanarak toprağı sınıflandırırken, diğerleri onu jeoloji, coğrafya, iklim ve bitki örtüsü gibi faktörlere göre sınıflandırır (Eswaran ve diğ., 2003).

Toprakların sınıflandırılmasının kökeni eski uygarlıklara kadar uzanabilir. Kellogg (1963) toprak sınıflandırmasına ilişkin ilk bilgilerin Çin kayıtlarından elde edildiğini belirtmektedir. Bu raporlar kapsamında ilk toprak sınıflandırması İmparator Yao zamanında (MÖ. 2357-2261) büyük bir ihtimal ile daha çok vergilendirme amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu sınıflandırma toprakların ve strüktür özellikleri göz önünde bulundurularak mühendis Yu tarafından yapılmış olup topraklar sınıflara ayrılmıştır (Soil Survey Staff, 1960; Akalan, 1968; Özbek ve diğ., 1974).

1938'de Baldwin, Kellogg ve Thorp, Sibirtsev'in bölgesel toprak konseptini kullanarak yeni bir sınıflandırma sistemi tasarladılar. Zonal, intrazonal ve azonal topraklar için alt kategoriler oluşturular. Daha sonra Whitney (1909) ve Coffey (1912) dikkate değer araştırmalar yaptılar. Whitney başlangıçta toprak araştırmalarını yürütmek için Amerikan toprak sınıflandırma sistemini oluşturmuştur. Ancak Coffey, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki topraklar için, onları iklim ve bitki örtüsünün etkisine dayalı olarak beş ana sınıfa ayıran bir sınıflandırma sistemi de önermiştir (Dinç ve diğ., 1987).

İlk olarak 1938’de geliştirilen toprak sınıflandırma sistemi revize edildi ve ardından 1949’da ABD’de yayınlanmıştır. Daha sonra yapılan kapsamlı toprak araştırmaları ve sınıflandırmaları, 1949 yaklaşımına dayalı olarak tüm toprakları kategorize etme veya etiketleme konusunda başarısız olmuştur. Buna yanıt olarak, toprakların sınıflandırılmasına yönelik yeni bir yöntem geliştirmek amacıyla 1950’li yıllarda toprak sınıflandırma sistemi başlatılmıştır (Anonim, 2006).

1960 yılında Medison, Wisconsin’de düzenlenen 7. Uluslararası Toprak Bilimi Kongresi sırasında Smith, Amerikan Toprak Sınıflandırma Sistemini “7. Yaklaşım” olarak tanıtmıştır (Soil Survey Staff, 1960). Söz konusu sistem, Avrupa ülkelerindeki toprak bilimcilerinin tavsiyelerini de kapsayacak şekilde kapsamlı testlerden ve revizyonlardan geçmiştir. 1975 yılında “Toprak Taksonomisi” (Toprak araştırmalarının yürütülmesi ve yorumlanması için Temel Toprak Sınıflandırma Sistemi) başlıklı bir nihai rapor olarak resmi olarak yayınlanmıştır. Ancak ilerleyen süreçte yeni bilgiler geldikçe sistemin güncellenebileceği belirtilmiştir. Raporunda, yeni toprak taksonomisinin önceki teorik pedojenik sınıflandırma sisteminden farklı olduğu belirtilmektedir. Takım, alt takım, büyük grup, alt grup, aile ve seri olmak üzere altı kategoriden oluşur. Bu kategoriler, gerçek bilgilere dayanan genetik-morfometrik özelliklere sahip, sistem genellemesinin farklı seviyelerini temsil etmektedir (Soil Survey Staff, 1975; Dinç ve diğ., 1987).

Türkiye’de toprak sınıflandırma konusunda ilk çalışmalar Çağlar tarafından gerçekteştirilmiştir. Toprakların morfolojik özellikleri kapsamında oluşturulan Türkiye Toprak Haritası’nda 11 farklı toprak grubu bulunmaktadır (Dinç ve diğ., 1987). Sonrasında Çağlar ve diğ. (1951) Eskişehir ve Alpu ovaları topraklarını sınıflandırmış ve haritalandırmıştır. Çağlar (1958) Türkiye topraklarının belirli iklim bölgelerine ayrılması kapsamında ele alarak bunları:

- Akdeniz Kızıl Toprakları
- Alüviyaller,
- Esmer Kırmızı Topraklar
- Esmer Step Toprakları,
- Kahverengi Orman Toprakları,
- Karadeniz Podzolik Kızıl Toprakları
- Kestane Rengi Topraklar,

- Kızıl Topraklar
- Kuzey Orman ve Esmer Orman Toprakları,
- Çorak Topraklar olarak sınıflandırmıştır.

1991 yılında yaptıkları çalışmada Özus ve diğ.. Silifke Ovası topraklarını incelemiş ve bunları oluşumlarına, temel özelliklerine ve fizyografik birimlerine göre sınıflandırmıştır. 6 farklı fizyografik birimde bulunan toplam 8 farklı toprak serisini belirlemişlerdir. Bu birimler Göksu Nehri'nin çökelleri ve yanal alüvyonlardan oluşmuştur. Belirlenen toprak serilerini toprak taksonomisine göre şu şekilde sınıflandırmıştır;

- Xerofluent, Halaquept, Fluvaquent, Xerochrept

FAO/UNESCO'ya göre ise;

- Calcaric Fluvisol, Gleyic Solonchak, Chromic Cambisol

Akgül (1992) tarafından Daphan Ovası'ndaki toprakların temel özelliklerinin belirlenmesi, sınıflandırılması ve gelecekteki tarımsal çalışmalara temel oluşturacak kapsamlı bir toprak haritasının oluşturulması amaçlanmaktadır. Araştırma bölgesindeki topraklar genetik özelliklerinin yanı sıra fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerine göre 12 ayrı toprak serisine ayrılmıştır. Söz konusu serilerden;

- 3'ü Paleustolik Chromustert
- 2'si Vertic Calciustoll
- 3'ü Vertic Haplustoll,
- 3'ü Typic Calciustoll
- 1'i Entic Haplustoll alt gruplarında sınıflandırılmıştır.

Irmak ve ark. (1997), Toros Dağları'ndaki üç Terra Rossa toprak profilinin oluşumunu ve bazı fiziksel özelliklerini araştırmıştır. Kireçtaşı ana kaya üzerinde gelişen üç toprak profili, toprak taksonomisinde Tipik Rhodoxeralf ve FAO/UNESCO'ya göre Kromik Luvisol olarak kategorize edilmektedir.

Cangir ve Boyraz (1998), İzmir Neojen çökelleri üzerinde gelişen Mollisollerin yapısı, oluşumu ve sınıflandırılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar bu topraklarda birincil

toprak süreçlerinin dekalsifikasyon ve melanizasyon olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca topraklarda başlıca kil mineralleri olan illit, kaolinit ve klorit de farklı miktarlarda bulunmaktadır. Çalışma, toprakları Entic Haploxeroll ve Lithic Haploxeroll olarak sınıflandırmıştır.

Yılmaz ve diğ.. (2000) Kahramanmaraş ilinde toprağı oluşturan çevresel elementlerin çeşitli kombinasyonlarının toprak oluşumu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu bölge iklim, bitki örtüsü, arazi ve ana materyal açısından dikkate değer farklılıklar yaşamaktadır. Topraklar, toprak taksonomisine göre Aridisol, Inceptisol, Vertisol, Entisol ve Histosol kategorilerine ayrılmıştır.

Dengiz ve diğ.. (2012) Samsun'un Havza ilçesine bağlı Aslançayır Köyü Kuşkonağı Havzası'ndaki çeşitli toprakları incelemişlerdir. Bu toprakları morfometrik sisteme göre sınıflandırıp dağılım alanlarını 1:25.000 ölçekli bir harita üzerinde haritalandırmışlardır. Bu, bölgedeki farklı toprakların mekansal dağılımını belirlemelerine olanak sağlamıştır. Bölgenin topoğrafik, jeolojik ve jeomorfolojik haritalarının incelenmesi ve saha gözlemlerinin yapılmasının ardından araştırma alanı 6 farklı profile ayrılmıştır. İki toprak Entisol, ikisi Inceptisol ve ikisi Vertisol olarak sınıflandırılmıştır. FAO/ISRIC sınıflandırma sistemi toprakları dört ana türe ayırır: Leptosol, Calcisol, Cambisol ve Vertisol.

Abdelfattah (2013) Birleşik Arap Emirlikleri'nin %8,2'sini oluşturan Kuzey Emirlikleri'nde bir çalışma yürütmüştür. Çalışmanın amacı bu bölgedeki toprakları Toprak Taksonomisi kullanarak değerlendirerek familya düzeyinde tanımlamaktır. Araştırma alanındaki ana toprak gruplarını temsil eden on beş pedon analiz ettiği bir çalışma yürütmüştür. Amaç, aşırı kurak ortamlarda toprağın oluşumunda ve niteliklerinde yer alan temel unsurları ve süreçleri tanımlamaktır. Çalışma aynı zamanda toprak sınıflandırması ve arazi yönetimi hakkında bilgi sağlamayı da amaçlamıştır. Çalışma, ana materyali iklim, bitki örtüsü ve fauna, zaman, insan faaliyetleri ve tuzlanma, kireçlenme, çingeneleşme, sodifikasyon ve rüzgar birikimi gibi süreçler dahil olmak üzere toprak oluşumunu etkileyen birçok unsura dayanarak değerlendirmiştir. Aynı zamanda toprak sınıflandırmasını ve yönetimini de içeriyordu. Değerlendirme sonuçları, bu unsurların ve süreçlerin toprak kullanımını ve yönetimini önemli ölçüde etkilediğini ve Toprak Taksonomisi ile yakından bağlantılı olduğunu göstermektedir.

2.3. TOPRAK SAĞLIĞINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Bir toprak, kendisini şekillendiren faktörler doğrultusunda amaçlanan fonksiyonlarını yerine getirdiğinde sağlıklı sayılır. Bu, bitkilerin, hayvanların ve mikroorganizmaların üretkenliğini teşvik etmeyi, su, besin maddeleri, karbon ve diğer gazların temel döngülerini kolaylaştırmayı ve insan varlığını sürdürmeyi içermektedir (FAO, 2018)

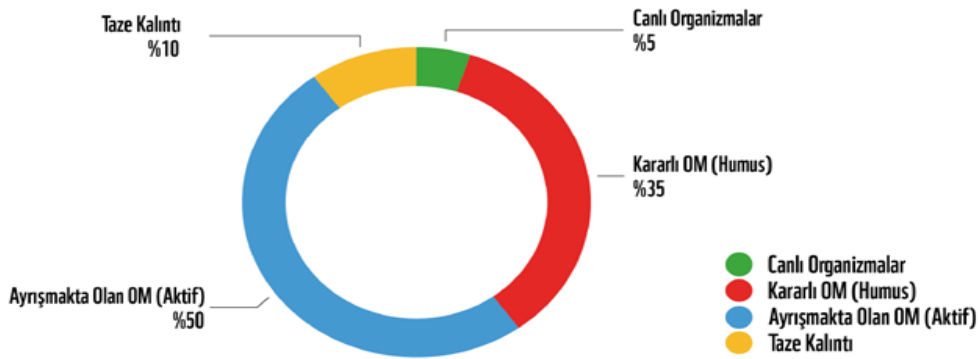
Sağlıklı toprak, karmaşık bir besin ağı içinde karmaşık etkileşimlere giren türlerle dolu dinamik bir ortamdır. Toprak mineraller, organik madde, su ve hava açısından dengeli olduğundan bitki besin maddeleri açısından bol miktarda bulunur. Bu özellikler onu bitki köklerinin sağlıklı büyümesini teşvik etmek ve hastalıklara karşı direnç sağlamak için çok uygun hale getirmektedir (Orgiazzi ve diğ., 2016).

a. Toprak Organik Maddesi (TOM)

Canlı organizmalardan gelen ve ayrışma yoluyla toprağa geri dönen çeşitli maddeleri ifade eder (Bot ve Benites, 2005). Daha basit bir ifadeyle toprakta veya toprakta bulunan tüm organik maddeleri içerir (Ingham ve diğ., 2000).

Toplam Organik Madde olarak da bilinen TOM, topraktaki tüm canlı türleri için önemli bir kritik besin kaynağıdır. Bitkiler ve diğer organizmalar için enerji ve besin deposu görevi görmektedir (Ingham ve diğ., 2000).

Bu maddenin bileşiminde önemli miktarda oksijen, yaklaşık eşit miktarda hidrojen ve nitrojen ve minimum miktarda kükürt bulunmaktadır (Toor, Shober ve Reisinger, 2018).



Şekil 2.1: Toprak Organik Maddesi Bileşenleri

Toprak organik karbonunun önemliliği şu şekildedir (ÇEM, 2018; FAO, 2018):

- Küresel karbon döngüsü, atmosferi, biyosferi, jeosferi, hidrosferi ve pedosferi birbirine bağlamak için buna dayanır.
- Küresel iklim değişikliği bağlamında toprağın önemli bir karbon yutucu işlevi görmesini sağlamada hayati bir rol oynar.
- Toprağın su tutma özelliğini artırır ve suyun toprağa nüfuz etmesini kolaylaştırır.
- Toprağın agregasyonu ve agregasyonu için gerekli iyonları bağlayarak toprağın yapısal stabilitesine katkıda bulunur.
- Besin döngüsü dengesini koruyarak toprağın besin ağı için enerji deposu görevi görür.
- Toprak sağlığını ve verimliliğini artırmada önemli bir rol oynar, dolayısıyla tarımsal ekosistemlerde uzun ömürlü ve dayanıklı tarımsal üretimi teşvik eder.

Arazi kullanımı ve yönetimi, özellikle de toprak işlemeyle ilgili olanlar, toprağın sıcaklığı ve nemi üzerinde önemli ve anında etkiye sahiptir. Sonuç olarak bu iki parametreye oldukça duyarlı olan toplam organik karbon (TOK) miktarı olumsuz etkilenmektedir. Yirminci yüzyılın sonlarında artan otomasyon, daha yüksek gıda tüketimi ve ormanların ve otlak alanlarının tarım bölgelerine dönüştürülmesinin birleşimi, Dünya üzerindeki toplam organik karbon (TOK) seviyelerinde önemli düşüslere yol açmıştır (ÇEM, 2018).

c. Katyon Değişim Kapasitesi (KDK)

Geçmiş 1850 yılına dayanan köklü bir kavram olan katyon değişim kapasitesi (KDK), bir toprağın adsorbe edebileceği maksimum değiştirilebilir katyon miktarını ölçer. Toprağın önemli bir kimyasal özelliği olarak kabul edilmektedir (Aydın ve Kılıç, 2020).

İyonlar, elektron almış (negatif iyonlar) veya elektron kaybetmiş (pozitif iyonlar) atomlar veya atom gruplarıdır (moleküller). Pozitif yüklü bir atom veya moleküle “katyon”, negatif yüklü olana ise “anyon” adı verilir. Bir atom veya molekülün yükü, onun toprakta hareket etme kapasitesini ve bitkiler için besin maddesi olarak uygunluğunu belirlemektedir. Toprağın

yapısı, reaksiyonu, su ve hava bileşenleri ve biyolojik aktivitesi, topraktaki değiştirilebilir katyonların varlığı ve miktarından etkilenmektedir (Aydın ve Kılıç, 2020).

Bitki besin maddelerinin önemli bir kısmı toprakta katyon görevi görür. TOM'un (toprak organik maddesi) yüzeyi topraktaki katyonlar için bir rezervuar görevi görür, çünkü kil parçacıkları ve anyonlar bu katyonları çeker ve bitki besinleriyle çevrelemektedir. Toprak parçacıkları katyonları adsorbe eder ve bunlar daha sonra kök kılları tarafından salınan hidrojen iyonları (H⁺) karşılığında bitki tarafından emilmektedir.

Killi topraklar, kil parçacıklarının yüklü yüzeyleri nedeniyle daha yüksek KDK'ya (katyon değişim kapasitesi) sahiptir. Sonuç olarak killi topraklar, diğer parçacıkların daha yaygın olduğu topraklara kıyasla daha iyi verimlilik potansiyeline sahiptir (FAO, 2018).

2.4. TOPRAKLARIN ÖNEMİ VE KORUNMASI

Küresel ve ulusal toprakların önemli bir bölümünü oluşturan tarım arazileri insan refahı, türlerin korunması ve kaynakların sürdürülebilirliği açısından hayati öneme sahiptir. Sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamalarını hayata geçirerek, su ve diğer doğal kaynakları korurken tarım arazilerinin kalitesini artırılabilir. Bu yaklaşımın tarımsal üretkenlik, iklim değişikliğinin azaltılması ve insan sağlığı üzerinde faydalı bir etkisi olacak ve bu da onu toprakların küresel olarak korunmasında çok önemli bir bileşen haline getirecektir.

2.4.1. Toprağın Ekosistem Hizmetleri ve İşlevleri

Toprak oluşumu, içinde yaşayan canlıların yaşam alanlarını düzenlemesiyle gerçekleşir. Bu canlılar ana kayanın erozyonuna ve mineral ve organik madde birikmesine katkıda bulunur. Ayrıca boş alanlar ağı kurarak toprak yapısının oluşmasında ve korunmasında rol oynarlar. Topraktaki gözenekli ağ yapısının su ve gazların akışı, besin alışverişi ve organizmaların metabolik çıktılarının ayrışması üzerinde etkisi vardır. Ayrıca toprağın sağladığı ekosistem hizmetlerinde de rol oynar (Orgiazzi ve diğ., 2016).

Avrupa Birliği tarafından gerçekleştirilen Küresel Toprak Biyoçeşitliliği Atlası çalışmasından (Orgiazzi ve diğ., 2016) elde edilen aşağıdaki tablo, "hizmetler" terimini bireylerin ekosistemlerden elde ettiği somut ve soyut avantajlar olarak tanımlamaktadır. "İşlevler" terimi,

bir ekosistem içinde meydana gelen biyolojik, jeokimyasal ve fiziksel süreçleri ve bu faaliyetleri oluşturan unsurları ifade eder.

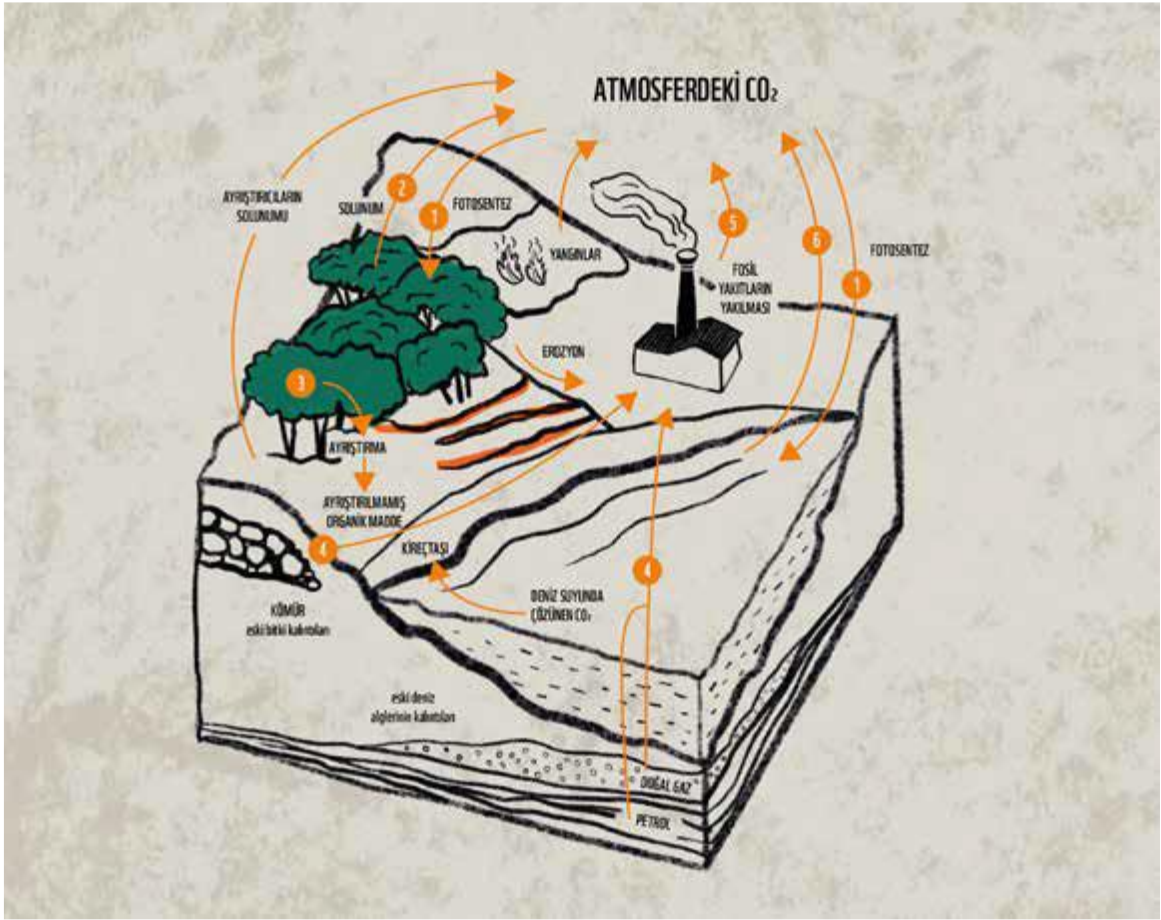
Tablo 2.1: Toprağın Ekosistem Hizmetleri Ve İşlevleri

Ekosistem Hizmetler	Ekosistem İşlevleri	Toprak Biyotası
TEDARİK EDİCİ Bitkisel Üretim Biyoteknoloji	Ayrışma ve Karbon Döngüsü	Bakteri, mantar ve arkeler Makrofauna Mesofauna Mikrofauna
DÜZENLEYİCİ İklim Atmosfer içeriği Hidrolojik hizmetler	Besin Döngüsü	Bakteri, mikrozal mantar Diğer mikroorganizmalar Mikrofauna
DESTEKLEYİCİ Habitat Biyçeşitliliğin korunması	Toprak yapısı ve Geliştirilmesi	Büyük eklembacaklılar Kökler Solucan ve mantarlar
KÜLTÜREL Doğal Sermaye	Biyolojik popülasyonun yönetilmesi	Bakteri, mantarlar Makrofauna Mesofauna Mikrofauna

2.4.2. Toprağın Biyojeokimyasal Döngülerdeki Yeri

Biyojeokimyasal döngü, bir elementin veya bileşiğin farklı canlı ve cansız organizmalar ile bunların biyosferdeki ilgili yerleri arasında tekrarlayan geçişini ifade eder. Enerjinin temel döngüleri karbon (C), azot (N) ve sudur. Ayrıca fosfor (P) ve kükürt (S) de büyük önem taşımaktadır. Toprak, yani toprak biyotası, bu döngülerin gerçekleştiği birincil arayüz görevi görür ve bunların düzgün işleyişini sürdürmede çok önemli bir rol oynamaktadır.

Karbonun (C) atmosfer, canlı organizmalar (biyosfer), okyanuslar (hidrosfer) ve toprak (pedosfer) arasında hem inorganik hem de organik farklı formlarda aktarıldığı süreç, karbon döngüsü olarak bilinir (Orgiazzi et al., 2016).



Şekil 2.2: Karbon Döngüsü

1. Bu ekosistemlerdeki karbon, CO₂'nin sudaki ve karadaki bitkiler tarafından fotosentez yoluyla emilmesiyle başlayarak hızlı bir döngüye girmektedir.
2. Bitkiler aldıkları karbondioksitin büyük bir kısmını solunum yoluyla dışarı verirler.
3. Fotosentezle üretilen organik maddenin bir kısmı bitki biyokütlesine dönüştürülür, ancak önemli bir kısmı da bitki köklerinden salınan farklı salgılar yoluyla toprağa iletilir. Toprak organizmaları, toprak organik maddesinin önemli bir parçası olan bu karbonu parçalayarak toprağın besin ağı için farklı besin maddelerine dönüştürür. Toprak organik karbonunun bir kısmı daha dayanıklı karbon bileşenlerine dönüşerek toprağın "humus" içeriğinin oluşmasına neden olmaktadır.
4. Ayrıştırılmadan, sedimentlerin ve kayaların arasına jeolojik sürelerde giren organik madde; kömüre, petrole ve doğal gaza dönüşmektedir.

5. İnsanlar bu yakıtları tükettiğinde içlerindeki karbon atmosferle birleşerek karbondioksit (CO₂) oluşturur.

6. Kireçtaşı (CaCO₃), erozyon ve aşınma yoluyla karbon döngüsüne salınan karbon içerir. Bu karbon, CO₂ olarak atmosfere ve hidrosfere karışır (Graham ve diğ., 2015).

Fotosentez yoluyla elde edilen ve basit şekere dönüştürülen karbon, bitkiler tarafından farklı işlevler için çeşitli bileşikler halinde kullanılır. Temel olarak basit şekerler, proteinler ve karbonhidratlardan oluşan bazı maddeler bitki kökleri tarafından toprağa salınır. Amaç, bitki kökünün (rizosfer) yakınında yaşayan bakteri ve mantarlara enerji kaynağı sağlamak ve karşılığında değerli inorganik mineraller elde etmektir.

Zamanla toprağa salınan bazı karbon bazlı bileşikler, toprakta bulunan mikroorganizmalar tarafından dönüşüme uğrar ve bunun sonucunda humus oluşur. Humus, toprağın sağlığını ve kalitesini korumada çok önemli bir rol oynamaktadır. Humus, bozulmaya karşı dayanıklı, koyu renkli bir organik bileşiktir. Karbon, nitrojen, mineraller ve toprak parçacıklarından oluşan karmaşık bir yapıya sahiptir. Karbonun atmosferden yakalanıp toprakta uzun süre saklanması en etkili unsur genellikle bu şekilde kabul edilmektedir (White, 2014).

Topraklar, hem karasal bitki örtüsünün hem de atmosferin toplamından daha fazla miktarda karbon içeren, Dünya üzerindeki birincil karbon deposudur. Atmosfer yaklaşık 800 milyar ton karbon içerirken, bitki ve hayvan yaşamı yaklaşık 560 milyar ton karbon içermektedir. Topraktaki karbon miktarının 2.500 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir (FAO, ITPS ve GSP, 2015).

Arazi yönetimi ve toprak işlemede uyguladığımız hatalı yöntemler, topraktaki organik maddenin ve dolayısıyla toprakta kalıcı bir karbon deposu görevi gören humusun tükenmesine neden olmaktadır. Toprak işleme teknikleri hem doğrudan (fosil yakıt kullanımından) hem de dolaylı olarak (toprağın kendisinden) CO₂ emisyonlarına yol açabilir. Bu emisyonların topraktaki organik madde kaybı üzerinde önemli etkisi vardır (Turgut ve Koca, 2019).

Azot, tüm yaşam formlarında bulunan proteinler, amino asitler ve diğer bileşenler arasında karbondan sonra en yaygın ikinci besindir (FAO ve ITPS, 2015). Azot döngüsü, azotun çeşitli kimyasal formlara dönüşmesidir. Toprakların ana maddesi, bitkilerin ihtiyaç duyduğu diğer besin maddelerine kıyasla daha düşük nitrojen içeriğine sahiptir. Atmosferin %78'i kararlı bir

element olan nitrojen gazından (N₂) oluşur. Toprakta belirli organizmaların varlığı, kararlı formdaki nitrojenin bitkiler tarafından kullanılabilen farklı kimyasal bileşiklere dönüştürülmesi için çok önemlidir (Graham ve diğ., 2015; FAO ve ITPS, 2015).

Tarımsal kimyasalların sanayileşme süreciyle, insanlar normalde atmosferdeki gaz halindeki bir durumda bulunan azotu, biyolojik süreçlere güvenmeden suda çözülebilecek bir biçimde üretebilirler. Sentetik kimyasal gübrelere bulunan önemli bir element olan azotun, insan müdahalesi yoluyla toprağa sokulmasının birkaç olumsuz etkisi vardır. Toprak gıda ağındaki beslenme dinamiklerini bozar ve toprak organizmalarının sağlığı üzerinde zararlı etkilere yol açmaktadır. Ek olarak, yeraltı suyunun kalitesini olumsuz etkiler ve toprak tuzluluğuna katkıda bulunur. Ayrıca, bu azot ilavesi yöntemi, biyolojik süreçlerle üretilen azot bileşiklerine kıyasla nispeten verimsizdir. Son çalışmalar, insan faaliyetleri nedeniyle bağlanan azotun% 60'ının herhangi bir gıdaya veya başka bir ürüne dönüştürülmeden önce çevreye geri salındığını göstermektedir (FAO ve ITPS, 2015).

1. Azotun bağlanması: Azot fiksasyonu, atmosferik nitrojenin (N₂), toprakta serbest yaşayan veya Rhizobium gibi bitkilerle simbiyotik ilişki içinde olan bakteriler tarafından amonyağa (NH₃) dönüştürülmesidir.
2. Amonifikasyon: Nitrifikasyon, toprakta ölen bitki ve hayvanlardan alınan organik bileşiklerin ayrıştırıcılar tarafından kullanılması ve dağıtılması sonucu oluşan organik azot moleküllerinin, toprakta ve suda bulunan bakteriler tarafından amonyağa dönüştürülmesidir.
3. Nitrifikasyon: Proses, aerobik mikroorganizmaların aktivitesi yoluyla amonyağın nitrite (NO₂-) ve ardından nitratlara (NO₃-) dönüştürülmesini içerir.
4. Asimilasyon: Tüm organizmalar tarafından gerçekleştirilen bu olay, topraktan amonyak ve nitratın çıkarılması işlemiyle ilgilidir. Hayvanlar, gerekli nitrojeni, organik nitrojen sağlayan bitkilerin tüketimi yoluyla elde ederler. Buna karşılık bitkiler, salgıladıkları enzimlerin yardımıyla topraktan amonyak ve nitrat formunda nitrojen alırlar.
5. Denitrifikasyon: Oksijenden yoksun veya oksijenin sınırlı olduğu koşullarda anaerobik bakteriler tarafından gerçekleştirilen bu olay, nitratın gaz halindeki nitrojene dönüşmesini ve daha sonra atmosfere geri salınmasını içerir.

Azot protein, amino asit ve enzimlerin üretiminde önemli bir rol oynar. Azotun, biyolojik ayrışma ve oksidasyon süreçleri yoluyla, toprak ekosistemi içerisinde bitkilerin absorbe edebileceği formlarda kullanılması esastır. Bu, çevreye zarar vermeden yapılmalıdır. Toprağın ekosistem hizmetlerini ve faaliyetlerini sürdürülebilir bir şekilde etkin bir şekilde yürütebilmesi için toprak biyotasının korunması ve gerekirse geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Dünya topraklarının büyük bir bölümünün tarıma tahsis edildiği göz önüne alındığında, gezegenimizin nitrojen döngüsünün sağlığını ve verimliliğini artırmanın en önemli yolunun tarım topraklarındaki besin döngülerini korumak ve geliştirmek olduğu tartışılmaz.

Hidrosfer, buzullar, okyanuslar, denizler ve nehirler de dahil olmak üzere Dünya üzerindeki tüm suyu kapsar. Su döngüsünün başlangıç aşaması olmasa da hidrosfer, gezegenimizdeki birincil su deposu olarak kabul edilmektedir (Graham ve diğ., 2015).

1. Su döngüsünü sürdüren en önemli bileşen Güneş etkisi ile ısınan okyanus yüzeyinde bir miktar su, buharlaşarak atmosfere karışmaktadır.
2. Kar ve buz ile kaplı yüzeylerde süblimleşerek atmosferde su buharı meydana gelmektedir.
3. Bitkilerin yaprak yüzeylerinden terleme yöntemi ile ve toprak yüzeyinden gerçekleşen buharlaşmada atmosferdeki su buharı miktarını etkilemektedir.
4. Atmosferde gaz olarak bulunan su, atmosferin çeşitli katmanlarında yoğunlaşan bulutların hareketleri ile yeryüzüne yağış şeklinde düşmektedir.
5. Yağış olarak Dünya'ya inen suyun bir kısmı okyanus yüzeyinden buharlaşarak atmosferle yeniden bütünleşir.
6. Yağışların bir kısmı yüzey akışıyla okyanusa akar ve beraberinde besinlerle doymuş bir çözelti taşır.
7. Bir kısmı toprak tarafından asimile edilir ve toprağın biyolojik süreçlerinde kullanılır.
8. Topraktan emilen suyun bir kısmı dışarı sızarak yeraltı suyunu oluştururken, bir kısmı da akarsular aracılığıyla okyanuslara geri döner ve bir kısmı gölleri oluşturur (Graham ve diğ., 2015).

Toprağın su döngüsündeki ve ekosistem hizmetlerindeki rolleri aşağıdaki tabloda kısa ve öz bir şekilde ifade edilebilir (FAO ve ITPS, 2015):

Tablo 2.2: Toprağın Su Döngüsündeki Roller

TOPRAK İŞLEVİ	MEKANİZMA	SONUÇ	EKOSİSTEM HİZMETİ
Depolama	Toprak gözeneklerinde depolanan su, bitki ve mikrobiyoloji topluluğunu destekler.	<ul style="list-style-type: none"> • Biyokütle üretimi • Toprak yüzeyinin korunması 	<ul style="list-style-type: none"> • Erozyon kontrolü • Estetik • Gıda
Kılcal Geçirimsizlik	Düşen su, fazlası yüzey akışı olacak şekilde toprakta filtrelenerek süzülür.	Hızlı yüzey akışının azaltılması	<ul style="list-style-type: none"> • Erozyon kontrolü • Sel ve su baskını güvenliği
Hidrolik İletkenlik	Toprağa giren su, fazlası yer altı kaynaklarına süzülecek şekilde toprakta dağıtılır.	Yer altı sularının beslenmesi	<ul style="list-style-type: none"> • Akarsu akışı kontrolü • Yer altı sularının zenginleşmesi
Filtreleme	Su, toprak matrisinden geçerken toprak parçacıkları ve biyotasıyla etkileşime girer.	Biyolojik ayrışma ve muhafaza ile kirleticilerin uzaklaştırılması	<ul style="list-style-type: none"> • Su kalitesi

İklim, tarımsal üretimi önemli ölçüde etkileyen önemli bir unsurdur. Küresel araştırmalar, tarımsal talebin arzı aştığı alanların ağırlıklı olarak dünyanın kuru ve çorak bölgeleri olduğunu göstermektedir. Sulama altyapısı, kuru ortamlarda tarımsal üretimin sürdürülebilirliğinin ve verimliliğinin belirlenmesinde önemli bir role sahiptir. Sulama altyapısının yaşayabilirliği ve sürdürülebilir işleyişi, küresel ve havza su döngüsünün refahına bağlıdır. TÖİK'in 2018 yılında da gözlemlediği gibi, tarımsal üretimin sürdürülebilir gelişimi yalnızca toprak ve suyun kapsamlı yönetimine bağlıdır.

2.4.3. İklim Değişikliği

Dünyanın yüzey sıcaklığı, fosil yakıtların yakılması, sanayileşme, sentetik kimyasal gübre kullanımı, arazi yönetimi ve arazi kullanımındaki değişiklikler gibi atmosfere sera gazı salan

insan eylemlerinin bir sonucu olarak yükselmektedir. Bu olgunun göze çarpan bir sonucu, iklim modellerinin dünya çapında fark edilebilir şekilde değişmesidir. Bunun sonucunda ortaya çıkan yansımalar, ne yazık ki, yalnızca hava olayları üzerinde değil, aynı zamanda birbiriyle yakından bağlantılı olan tarımsal, biyofiziksel ve sosyoekonomik sistemler üzerinde de zararlı bir etkiye sahiptir. Mikrobiyolojik organizmaları da içeren toprak biyotası karbon, nitrojen, su, fosfor ve kükürt döngülerinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle bu döngüleri gözden kaçırmamak önemlidir. Küresel iklim değişikliği bağlamında toprak biyotası, güçlü bir toprak gıda ağı kurarak tarım sistemlerimizin değişen iklime uyum sağlamasına yardımcı olma konusunda da hayati bir rol oynamaktadır. Eş zamanlı olarak bu yönler, toprağın bir karbon yutağı olarak geliştirilmesi yoluyla iklim değişikliğiyle mücadelede en önemli faktörler olarak ortaya çıkmaktadır.

Tarımsal sera gazı emisyonları üzerinde çeşitli faktörlerin önemli etkisi vardır. Bunlar arasında yoğun fiziksel ekim nedeniyle toprağın organik karbonunun tükenmesi, arazilerin tarım dışı amaçlarla dönüştürülmesi, arazi bozulması ve toprağın besin ağının bozulması veya kaybı yer almaktadır. Bu faktörlerin, sera gazlarının küresel döngüsünün düzenlenmesinde önemli bir rol oynayan toprak mikroorganizmaları için zararlı olduğu düşünülebilir. Bu olumsuz durumun azaltılması için sürdürülebilir tarım uygulamalarının hayata geçirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bunu yaparak toprağın besin ağının yanı sıra ilgili ekosistem hizmetleri ve toprak işlevlerini de koruyabilir ve geliştirebilir.

2.4.4. Gıda Güvenliği, Beslenme ve Tarımın Sürdürülebilirliği

FAO Dünya Gıda Güvenliği Komitesi (CFS), gıda güvenliğini şu şekilde tanımlamıştır: “*Gıda güvenliği, tüm insanlar, her zaman aktif ve sağlıklı bir yaşam için gereken beslenme düzeni ihtiyaçlarını ve gıda tercihlerini karşılayan yeterli, güvenli ve besleyici gıdaya fiziksel, sosyal ve ekonomik olarak erişebildiğinde vardır. Gıda güvenliğinin dört ayağı; mevcudiyet, erişim, faydalanma ve istikrardır. Beslenme boyutu, gıda güvenliği kavramının ayrılmaz bir parçasıdır.*” (CFS, 2009).

Tarımsal üretim ve verimliliği gıda güvenliğinin, varlığının ve devamının sağlanmasında önemli faktörlerdir. Tarımsal üretimde sürdürülebilir verimliliğin sağlanması için tarım arazilerinin korunması şarttır. Toprakla ilgili karbon, nitrojen ve su döngülerinin yanı sıra

toprağın besin ağı ve mikrobiyolojik canlılığının refahını sağlamak için toprak ve su kaynaklarının ele alınmasına yönelik kapsamlı bir yaklaşımın benimsenmesi çok önemlidir.

2019'daki COVID-19 öncesi tahminlere göre, küresel nüfusun yaklaşık %8,9'unu oluşturan yaklaşık 690 milyon kişi yeterli gıdaya erişimden yoksundur. FAO, IFAD, UNICEF, WFP ve WHO'ya (2020) göre pandemi döneminde bu sayının artacağı öngörülmüştür. Toprak sağlığının bozulmasının, yaklaşık 2 milyar bireyin refahı üzerinde zararlı bir etkiye sahip olduğuna ve bunun sonucunda temel mikro besinlerin eksikliğine yol açtığına inanılmaktadır (TÖİK, 2018).

Toprağı ve sağlığını korumak; gıda, lif ve yakıt gibi temel kaynakların üretimi açısından çok önemlidir. İnsan refahının, ekosistem fonksiyonlarının, kaynakların verimli kullanımının ve en önemlisi gelecek nesiller için sürdürülebilirliğin güvence altına alınmasında temel faktördür. 24 milyar ton olarak tahmin edilen küresel toprak kaybının hektar başına yıllık 0,5-2 ton aralığında olduğu görülmektedir (TÖİK, 2018).

Dünya üzerinde binlerce yıldır varlığını sürdüren çok sayıda uygarlığın çöküşünün temel açıklaması, tarımsal uygulamaların ve arazi yönetiminin erozyona ve toprak verimliliğinin tükenmesine yol açtığına gözlemlenmesidir. Uzun vadede insanın hayatta kalmasını ve gelecek nesillerin refahını garanti altına alacak bir medeniyetin temeli için toprağı korumak ve geliştirmek artık geçmişten alınan bir derstir.

2.5. TARIM TOPRAKLARININ DURUMU

Türkiye'de kanunlar kapsamında tanımlandığı şekli ile tarım toprakları, *“Toprak, topoğrafya ve diğer ekolojik özellikleri bitkisel, hayvansal ve su ürünleri üretimi için uygun olan ve halihazırda bu amaçla kullanılan veya ekonomik olarak imar, ıslah ve ihya edilerek bitkisel, hayvansal ve su ürünleri üretimi için uygun hale dönüştürülebilen arazilerdir.”* (Tarım Özel İhtisas Komisyonu [TÖİK], 2014; TÖİK, 2018).

2.5.1. Türkiye'deki Tarım Toprakları

Türkiye, biyolojik çeşitliliğin korunması, toprak kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı, arazi bozulmasının azaltılması, çölleşmeyle mücadele gibi konularda operasyonel yönergelerin oluşturulmasını gerektiren çok sayıda uluslararası anlaşmanın imzacısıdır. Ekonomisi ağırlıklı

olarak tarımsal üretime dayalı olan ülkemizde Toprak, hem yaşamın sürdürülebilmesi için hayati bir gereklilik hem de üretimde belirleyici bir faktör olarak hayati bir rol oynamaktadır. Binlerce yıldır tarımsal üretimin odak noktası olan Anadolu toprakları, yanlış arazi kullanımı, aşırı otlatma, tarla oluşturma amacıyla ormansızlaştırma gibi insan faaliyetlerinden kaynaklanan yaygın erozyon sonucu önemli ölçüde bozulmaya uğramaktadır (TÖİK, 2018).

Tarımsal amaçlı kullanılan toplam arazinin %41'i tahıl ve diğer bitkisel ürünlerin ekimine, %9'u ise nadasa ayrılmaktadır. Toplam 37.716.000 hektar alanın %39'u çayır ve otlak, %9'u meyve, içecek ve baharat bitkileri gibi tarımsal amaçlara, %2'si ise sebze bahçesine ayrılmıştır (TÜİK, 2020a).

ÇMUSEP'e (2019) göre Türkiye'de ekonomik olarak tarıma uygun olmayan yaklaşık 5 milyon hektar arazi bulunmaktadır. Ayrıca Türkiye'de yaklaşık 5 milyon hektar alan tarımsal üretime uygun olmadığı için erozyona uğramaktadır.

Türkiye'nin tarım arazileri 40 milyon kişiye ait 32,5 milyon kayıtlı tarım parselinden oluşmaktadır. Tarım ve Orman Bakanlığı Çiftçi Kayıt Sistemine kayıtlı çiftçi sayısı her yıl değişiklik göstermekle birlikte ortalama 3 milyonu bulmaktadır.

TÖİK'e (2018) göre tarım firmalarının %85'i tarım arazilerinin %42'sini oluşturan arazilere sahiptir ve bu alanlar 100 dekarın altındadır. 2001 Genel Tarım Sayımı sonuçlarına göre tarım firmalarının %0,7'si 50 hektar ve üzeri arazi varlığına, %65,5'i ise 5 hektardan az arazi varlığına sahiptir (ÇMUSEP, 2019).

ÇKS incelendiğinde, Türkiye'de şirketlerin ortalama arazi büyüklüğü 2002 yılında 5,9 parsel iken, bu rakamın 2011 yılında 6,9 parsel yükseldiği tespit edilmiştir. Ortalama arazi büyüklüğü ise 2011-2016 yılları arasında sabit kalarak 68 dönüm olarak gerçekleşmiştir (TÖİK, 2018).

Toprak organik maddesi çölleşme, erozyon, arazi bozulması, toprak biyolojik çeşitliliği, toprak ve su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı, tarımsal üretkenlik ve iklim değişikliğinin azaltılması ve adaptasyonu konularında çok önemli bir faktördür. Toprağın sağlığını doğrudan etkilemektedir (ÇEM, 2018).

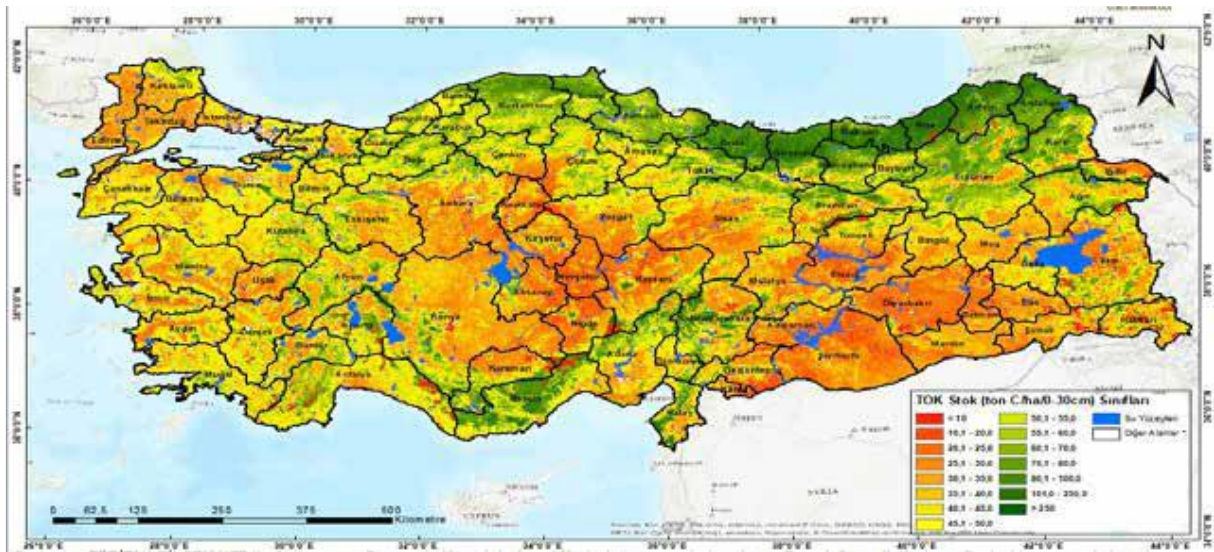
ÇEM ve TÜBİTAK BİLGEM tarafından yürütülen ve Toprak Organik Karbon Projesi (2018) olarak bilinen araştırmada, Türkiye'nin 0-30 cm derinlikteki karbon (C) stoğunun 3,51 milyar

ton olduğu belirlenmiştir. Projenin teknik özet dokümanında (2018) belirtildiği üzere toprak karbon (C) stoku en fazla olan orman bölgeleri toplamın %38'ini, meralar %33'ünü, tarım alanları ise %27'sini oluşturmaktadır. Proje modellemesinde üretilen projeksiyonlara göre farklı arazi kullanımlarına karşılık gelen hektar başına karbon (C) stoğu şu şekildedir:

Tablo 2.3:Türkiye’de Arazi Kullanım Çeşitlerine Göre Hektar Başına Karbon Stok Miktarı

55,68 ton Orman Alanları
49,77 ton Mera Alanları
49,71 ton Sulak Alanlar ve Su Yüzeyleri
35,96 ton Tarım Alanları
12,78 ton Çıplak Alanlar

Proje kapsamında oluşturulan Türkiye Toprağı Organik Karbon Stok Haritası incelendiğinde, ülkemiz topraklarının büyük bölümünde organik madde düzeyinin %0,5 ile %6 arasında değişen çok düşük olduğu tespit edilmiştir (ÇEM, 2018).



Şekil 2.3: Türkiye Toprak Organik Karbonu Stok Haritası (Kaynak: Çem, 2018)

TÖİK (2014)'e göre Türkiye, toprak derinliğinin 90 cm'den derin olması nedeniyle bitkisel üretime uygun 11 milyon hektar gibi sınırlı bir arazi alanına sahiptir. Bu istatistik ülkemizdeki toplam tarım arazisinin %30'undan azını temsil etmektedir.

2.5.2. Azerbaycan'daki Tarım Toprakları

Dağ çayır ve dağ orman topraklarında humus oranı %8,3-10,3 arasındadır. A horizonu humus bakımından zengin olup 50 cm üzerinde katman oluşturabilir. Subalpin çayırlarının bulunduğu ve 10.000 hektarlık bir alana yayılan çayır orman örtüsü yaz mevsimlerinde otlak olarak fayda vermektedir. Orman bulunmayan irili ufaklı bölümlerde patates tarımı yapılmaktadır. Güneye doğru ilerlendikçe bakla tarımı da görülmektedir (Budagov, 1999).

Koyu kahverengi orman toprakları çoğunlukla demir ve alüminyum açısından zengin zeminlerin üzerinde, kayın ve gürgen ağaçlarının bulunduğu yerlerde oluşmaktadır (Memmedov ve Guliyev, 2014). Bu ağaç topluluklarının altında yıllık 10 tondan fazla biyokütle birikmektedir. Bu toprak türünde çoğunlukla ağaç örtüsü bulunur fakat ağaç olmayan yerlerde meyve tarımı gelişmiştir (Müseyibov, 1998).

Kahverengi dağ orman toprakları subtropikal iklimin hakim olduğu alanlarda görülmektedir. Kayın, gürgen, çalı ormanları gibi örtülerde gelişen bu toprağın humus oranı %5,6-10,8 civarındadır. Orman örtüsünün seyrekleştiği yerlerde muşmula veya sebzecilik gelişmiştir (Memmedov ve Guliyev, 2014). Tarım açısından verimli olan bu topraklar yoğun tarım nedeniyle erozyona uğramış ve yapısında değişimler yaşamıştır (Budagov, 1999).

Kahverengi çayır toprakları orman örtüsünden daha alçak seviyelerde gelişir. Günümüzde orman örtüsünün bulunmadığı kesimlerde meyve tarımı ve kuru tarım yapılmaktadır (Budagov, 1999). Coğrafi yapının düzlük olması ve iklimin müsaitliği nedeniyle insanlar tarafından ormanların ortadan kaldırılıp tarım için kullanılmıştır. Bu toprak türünün bazı yerlerinde az da olsa killi yapılar bulunmaktadır (Şakuri, 2012).

Gri kahverengi dağ topraklarının bulunduğu bölgelerde iklim daha sert ve kuru, nem oranı görece olarak daha azdır (Budagov, 1999). Orman örtüsünün sık olmadığı yerlerde görülen koyu kestane rengi toprakların horizon katmanları açık şekilde gözlemlenebilmektedir. Coğrafi eğimi yüksek olmayan yerlerde toprak katmanı horizonları 1,5 metreyi aşabilmektedir. Humus

açısından zengin olan gri kahverengi dağ topraklarında humus katmanı 60 cm civarındadır. Bu verimli topraklar tarım için uygun olup geçmiş dönemlerden beri sulamalı tarım alanı olarak değerlendirilmektedir (Müseyibov, 1998).

Acınohur bölgesinde bozkıra has bitki örtüsünün altında oluşan kahverengi bozkır topraklar kurak hava nedeniyle tarım yerine otlak olarak kullanılmaktadır (Budagov, 1999). Humus bakımından fakir olan bu topraklarda humus oranı %1,0-1,3 olarak ölçülüp çoğunlukla üst horizonlarda rastlanmaktadır. Horizon katmanları açıkça gözlemlenemez ve toprak tuzlanması mevcuttur (Memmedov ve Guliyev, 2014).

Büyük Kafkas Dağlarının güneyinde yer alan orman çayır toprakları düzlük bölgelerde gelişmiştir. Bu topraklar oluşurken yeryüzü ve yeraltı akıntılardan önemli şekilde etkilenmiştir. Orman örtüsü az görülen bu bölgelerde tarım arazileri gelişmiştir ve dut tarımı yapılmıştır (Şakuri, 2012). A horizonunda %3,4-5,2 miktarlarında humus gözlemlenir ve aşağı doğru ilerlendikçe azalış göstermektedir. İçerik olarak karbonat bulunan bu topraklarda sulamalı tarım gelişmiştir ve sebzeçilik önemli gelir kaynağıdır (Memmedov ve Guliyev, 2014).

Kum taşlı killi ya da çakıllı birikintiler üzerinde 1-3 metre derinlikteki yeraltı suların etkisiyle alüvyal çayır toprakları meydana gelmektedir. Önemli özelliği çim katının oluşumu, granüler strüktürün geniş oranda değişmesidir (Budagov, 1999). Alüvyal çayır topraklarının bir kısmı mera olarak kullanılmaktadır.

Bataklık çayır toprakları alçak kesimlerde sel suları, vahşi sulama ve yeraltı sular yardımıyla meydana gelmektedir. Humus oranı bu topraklarda %3,4 olarak gözlemlenmektedir. Silt ve kil bulunan bataklık çayır topraklarında yüksek nem sayesinde pirinç tarımı yapılabilmektedir (Budagov, 1999).

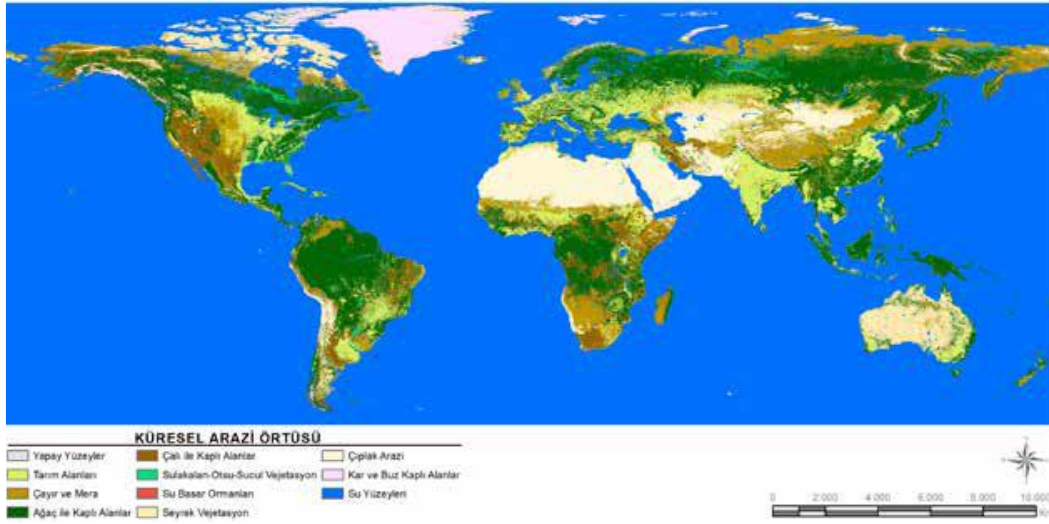
2.5.3. Dünyadaki Tarım Toprakları

Birleşmiş Milletler Çölleşmeyle Mücadele Sözleşmesi'nin (UNCCD) 2017 yılında yayınladığı Küresel Arazi Görünümü raporunda, 20. yüzyılın başında Dünya topraklarının %70,1'inin doğal veya ikincil ormanlarla kaplı olduğu belirtilmektedir. Ancak 21. yüzyılın başlarında bu rakam %18,7'ye düşmüştür. Analiz, ormansızlaştırılan ve tarım ve otlamaya dönüştürülen arazi yüzdesinin yüzyıl boyunca %27,2'den %46,5'e yükseldiğini göstermektedir (UNCCD,

2017). Raporda yer alan veriler, hasat edilen alan, sulanan alan ve tarımsal üretim gibi çeşitli faktörlerde gözlenen artışın son yirmi yılda devam ettiği iddiasını desteklemektedir.

Buzullar hariç, Dünya kara alanının yaklaşık %38'i çiftçilik ve hayvancılık gibi tarımsal faaliyetlere ayrılmıştır (Barger ve diğ., 2011, Foley ve diğ., 2012). Tilman ve diğ., göre (2011), bu oranın 2050 yılına kadar %46'ya çıkacağı öngörülmektedir.

Dünya toplam yüzölçümünün yaklaşık 5 milyar hektarı, yani yaklaşık 13 milyar hektarı tarım alanlarından oluşmaktadır. Toplam arazi alanının 1,5 milyar hektarı tarla bitkilerine, 1,5 milyar hektarı ise çok yıllık bitkilere ayrılmıştır. Ayrıca 2 milyar hektar arazi mera ve otlatma alanı olarak kullanılmaktadır (TÖİK, 2014).



Şekil 2.4: Küresel Arazi Örtüsü Latham Ve diğ., 2014)

Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) verilerine göre, erozyon, tuzluluk, bitki besin maddeleri ve organik maddelerin tükenmesi, kirlilik, toprağın betonla kaplanması sonucunda dünya toprağının yaklaşık üçte biri verimsiz hale gelmiştir (TÖİK, 2018). Dünya Toprak Kaynaklarının Durumu raporuna göre, küresel toprakların neredeyse %33'ü sürdürülemez arazi yönetimi tercihleri sonucunda önemli ölçüde bozulmaya maruz kalmıştır (FAO, 2019; FAO ve ITPS, 2015).

Dünya yüzeyindeki ekilebilir bölgelerde her yıl yaklaşık 75 milyar ton toprak kaybedilmekte ve bunun yıllık maliyeti 400 milyar ABD dolarına ulaşmaktadır. Arazi kaybının arazi

bozulmasına neden olduğuna ve bunun da tahıl üretiminde yıllık 7,6 milyon tonluk bir azalmaya yol açtığına inanılmaktadır (FAO, 2019).

Arazi tahribatına ilişkin kırk yılı aşkın süredir devam eden küresel değerlendirmelere rağmen, arazi tahribatının spesifik yerleri ve yöntemleri kesin olarak tanımlanmamıştır (FAO ve ITPS, 2015). Çağımızın en önemli zorluklarından biri hiç şüphesiz, Dünya kara yüzeyinin büyük bir kısmını oluşturan tarım arazilerinin insan ihtiyaçlarını sürdürülebilir bir şekilde karşılayabilmesinin sağlanmasıdır. Bunu yaparak gezegenimizin su, karbon ve besin döngülerini olumlu yönde etkileyerek iklim değişikliğinin azaltılmasında da rol oynayabilirler.

2.6. TOPRAK VERİMLİLİĞİ

Tarımın uzun vadede sürdürülebilirliği çok önemli bir faktör olan toprağın verimliliğine bağlıdır. Küresel toprak verimliliğinde genel bir düşüş yaşanmaktadır. Toprak verimliliğinde sürekliliğin sağlanması önemlidir. Verimlilik birçok şeyden etkilenir.

Çevreyi etkileyen unsurlar arasında iklim, sulama, gübreleme, pestisit uygulaması ve jeolojik faktörler yer alır. Ülkemizdeki toprakların organik madde içeriği düşük olup bu durum verimliliği doğrudan etkilemektedir. Ayrıca yetersiz yağış, yüksek sıcaklıklar ve diğer değişkenler gibi koşullar anız yakmanın etkinliğini doğrudan etkilemektedir.

Organik madde toprağın toplanmasını teşvik etme yeteneğine sahiptir. Bu yöntemi kullanarak erozyonu etkili bir şekilde azaltır. Toprağın su tutma yeteneğini artırır ve havalandırmayı destekler. Toprağın işlenmesinde verimliliği artırır. Bitki köklerinin hareketliliğini artırır. Bitkiler için gerekli besin maddelerinin erişilebilirliğini artırır. Toprağın su tutma özelliğini artırır.

Tarım alanlarımızın verimi yetersizdir. Toprak, belirli koşulların yerine getirilmesi durumunda yenilenebilir bir doğal kaynak olarak kabul edilebilir. Toprağın verimliliğini arttırmak için organik tarım tekniklerinin kullanılması, toprağın uygun şekilde sürülmesinin sağlanması, yeterli sulama ve gübreleme uygulamalarının yapılması ve ürün rotasyonunun uygulanması zorunludur.

2.7 VERİMLİ VE VERİMSİZ TOPRAK MİKROBİYOTALARI

2.7.1. Verimli Toprak Mikrobiyotaları

Verimli topraklar, biyolojik çeşitlilik açısından zengin ve mikrobiyal topluluklarının işlevsellik bakımından aktif olduğu topraklardır. Mikrobiyotanın bu topraklarda sağladığı ekosistem hizmetleri, tarımsal üretimden çevresel sürdürülebilirliğe kadar geniş bir alanda önemli rol oynar. İşte verimli toprakların mikrobiyotasının temel özellikleri:

1. Mikrobiyal Çeşitlilik

Verimli topraklar, bitki büyümesi için gerekli besin maddelerini sağlayan, organik materyalleri ayrıştıran ve çevresel streslere karşı direnç gösteren mikroorganizma gruplarına sahiptir:

- **Bakteriler:**
 - *Rhizobium* gibi azot-fiksator bakteriler, bitki kökleriyle simbiyotik ilişkiler kurarak atmosferik azotu kullanılabilir forma dönüştürür. Bu, özellikle baklagillerin büyümesini destekler.
 - *Bacillus* ve *Pseudomonas* türleri, bitki büyümesini teşvik eden (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria, PGPR) özelliklere sahiptir. Fosfor çözücü ve biyokoruyucu özellikleriyle bilinirler.
- **Mantarlar:**
 - Mikorizal mantarlar (örneğin, *Glomus* türleri), bitki kökleriyle simbiyotik ilişki kurarak fosfor ve su alımını artırır. Bu mantarlar, bitki köklerinin yüzey alanını artırarak besin alımını optimize eder.

-

- **Arkea ve Diğer Mikroorganizmalar:**

- Metanojenler ve nitrit oksitleyiciler, topraktaki azot ve karbon döngülerinde kritik rol oynar. Bu grupların yüksek çeşitliliği, verimli toprakların işlevsel dayanıklılığını artırır.

2. Mikrobiyal İşlevler

Verimli toprak mikrobiyotası, ekosistem işlevselliğinde kritik rol oynayan çeşitli biyokimyasal süreçleri destekler:

- **Besin Dönüşümü:** Mikrobiyota, organik materyali ayrıştırarak topraktaki karbon, azot ve fosfor döngülerini hızlandırır. Örneğin, lignoselülozik materyalin ayrışmasında aktif olan *Cellulomonas uda* gibi bakteriler bu sürecin temel taşlarındandır.
- **Hastalık Kontrolü:** Faydalı mikroorganizmalar, patojenlere karşı biyolojik savunma sağlar. Örneğin, *Trichoderma* mantarları ve *Pseudomonas fluorescens*, zararlı patojenlere karşı antifungal ve antibakteriyel özellikler taşır.
- **Azot ve Fosfor Fiksasyonu:** *Rhizobium* gibi azot-fiksatörler ve fosfor çözücü bakteriler, bitkiler için biyoyararlı besinlerin toprakta kullanılabilir hale gelmesini sağlar. Bu, özellikle yüksek biyokütle üretimi ve sürdürülebilir tarım için önemlidir.

3. Ekosistem Hizmetleri

Verimli toprak mikrobiyotası, ekosistemin dayanıklılığını ve sürdürülebilirliğini artırır:

- **Su Tutma Kapasitesinin Artışı:** Mikrobiyota, organik maddenin ayrışması sırasında su tutma kapasitesini artıran maddeler üretir. Bu, özellikle kuraklık dönemlerinde önemli bir avantaj sağlar.
- **Toprak Yapısının İyileştirilmesi:** Mikrobiyota tarafından üretilen biyofilmler ve diğer yapısal maddeler, toprak agregat stabilitesini artırarak erozyonu önler ve hava-su dengesini optimize eder.

Mendes ve arkadaşlarının yaptığı araştırma, verimli topraklarda *Actinobacteria* ve *Proteobacteria* türlerinin yoğun olarak bulunduğunu göstermiştir. Bu gruplar, organik

maddenin mineralizasyonunda ve hastalık baskılanmasında önemli rol oynar. MDPI’de yayınlanan bir çalışmaya göre, rizosfer mikrobiyotası tarafından üretilen bazı metabolitler, bitki büyümesini doğrudan etkileyen hormonlar içerir. Bu hormonlar (örneğin, indol asetik asit) bitkilerin kök gelişimini ve besin alımını artırır. Verimli toprakların mikrobiyotası, tarımsal üretkenliğin artırılmasında ve sürdürülebilir ekosistemlerin korunmasında kritik bir rol oynar. Bu topraklar, bitki büyümesini destekleyen bakteriler, mikorizal mantarlar ve diğer mikroorganizmalar açısından zengindir. Bu mikroorganizmaların sağladığı biyolojik işlevler, verimli toprakları ekolojik olarak vazgeçilmez kılar.

2.7.2. Verimsiz Toprak Mikrobiyotaları

Verimsiz topraklar, düşük mikrobiyal çeşitlilik ve zayıf işlevsellik gösteren topraklardır. Bu topraklar, ekosistem işlevselliğini sınırlayan çeşitli çevresel stresler (örneğin, yüksek tuzluluk, düşük pH, düşük organik madde) nedeniyle mikrobiyal toplulukların zayıf olduğu alanlardır. Verimsiz toprakların mikrobiyotasının özelliklerini detaylıca inceleyelim.

1. Mikrobiyal Çeşitlilik ve Yoğunluk

Verimsiz topraklarda mikrobiyal çeşitlilik genellikle düşer, çünkü bu topraklar zorlu yaşam koşullarına sahiptir. Bu koşullar, mikroorganizmaların çoğalmasını ve hayatta kalmasını zorlaştırır.

- **Bakteriler:** Verimsiz topraklarda, ekstremofil bakteriler yaygındır. Tuzluluk, asidik ortamlar ve kuraklık gibi stres koşullarına dayanabilen türler bu topraklarda baskın olabilir. Örneğin, *Halobacterium* ve *Bacillus* türleri, yüksek tuzluluk veya alkaliniteye uyum sağlayabilen bakterilerdir.
- **Mantarlar ve Diğer Mikroorganizmalar:** Mikorizal mantarların ve diğer simbiyotik mikroorganizmaların varlığı sınırlıdır. Verimsiz topraklarda genellikle bu türlerin sayısı düşer çünkü düşük organik madde içeriği ve olumsuz pH koşulları, onların gelişimini engeller.

2. Mikrobiyal İşlevler

Verimsiz topraklarda mikrobiyal işlevler, verimli topraklara göre büyük ölçüde kısıtlanmıştır:

- **Besin Döngüsü ve Azot Fiksasyonu:** Azot-fiksator bakteriler gibi, verimli topraklarda kritik öneme sahip mikroorganizmalar bu topraklarda daha azdır. Verimsiz topraklarda azot döngüsü yavaşlar ve atmosferden azot alımı sınırlıdır. Bu durum, bitkilerin azot ihtiyacını karşılamada zorluk yaratır.
- **Karbon ve Organik Madde Ayrışması:** Organik madde seviyelerinin düşük olması, mikroorganizmaların bu materyalleri ayrıştırmasını engeller. Bu nedenle, karbon döngüsü verimsiz topraklarda sınırlıdır ve toprakta karbon birikimi olumsuz yönde etkilenir.

3. Patojenik Mikroorganizmalar ve Ekosistem Sorunları

Verimsiz topraklarda, yararlı mikroorganizmaların sayısındaki azalma, patojenik mikroorganizmaların çoğalmasına yol açabilir. Bu durum, toprak sağlığını ve bitki gelişimini olumsuz etkiler:

- **Patojenik Bakteriler ve Funguslar:** Bu topraklarda, özellikle düşük organik madde içeren alanlarda, bitkiler için zararlı olan patojenik bakteriler ve mantarlar daha baskın olabilir. Örneğin, *Fusarium* ve *Rhizoctonia* gibi toprak kökenli patojenler, verimsiz topraklarda bitkilere zarar verebilir.
- **Toprak Asiditesi ve Mikrobiyal Aktivite:** Verimsiz toprakların çoğunda düşük pH, mikroorganizmaların faaliyetlerini olumsuz etkiler. Asidik topraklar, çoğu bitki için besin maddelerinin emilimini zorlaştıran bir ortam yaratır. Ayrıca, bu ortamda bazı mikroorganizmaların hayatta kalabilmesi daha zor hale gelir.

4. Toprak Yapısı ve Mikrobiyal İlişkiler

Verimsiz topraklar, organik madde eksikliği ve düşük biyolojik aktivite nedeniyle genellikle kötü bir toprak yapısına sahiptir. Mikrobiyota, bu yapıyı iyileştirecek etkinliklere giremez:

- **Su ve Besin Tutma Kapasitesi:** Düşük organik madde içeriği, toprak agregatlarının ve su tutma kapasitesinin azalmasına neden olur. Bu, mikrobiyal toplulukların besin ve su kaynaklarına erişimini sınırlayarak onların sağlıklı bir şekilde faaliyet göstermelerini engeller.

- **Biyolojik Gübreleme:** Verimsiz topraklarda biyolojik gübreleme stratejileri (mikrobiyal inokülasyon) kullanılarak, bitkilerin besin alımını artıran ve toprak yapısını iyileştiren mikroorganizmaların eklenmesi önerilmektedir.
- **"Soil Microbial Diversity in Degraded and Fertile Soils"** adlı bir çalışmada, verimsiz topraklarda mikrobiyal çeşitliliğin ve işlevselliğin azaldığı ve patojenlerin baskın hale geldiği vurgulanmıştır. Bu çalışma, düşük pH ve düşük organik madde seviyelerinin, mikrobiyal toplulukları nasıl sınırladığını ve bitkilerin büyümesini engellediğini gösteriyor.
- **MDPI’de yayınlanan bir araştırma**, tuzlu topraklarda mikrobiyal çeşitliliğin ve işlevlerin sınırlı olduğunu ve bunun, toprak sağlığını ve bitki büyümesini nasıl olumsuz etkilediğini belirtmiştir.

Verimsiz toprakların mikrobiyotasının, verimli topraklara göre büyük farklar gösterdiği açıktır. Mikrobiyal çeşitlilik ve işlevsellik, çevresel stres faktörleri (örneğin, tuzluluk, asidik pH) nedeniyle zayıflar. Bu durum, besin döngüsünü yavaşlatır ve patojenik mikroorganizmaların baskın hale gelmesine neden olur. Verimsiz toprakların iyileştirilmesi için mikrobiyal aşılama ve biyolojik gübreleme stratejileri önemli olabilir.

2.8. METAGENOMİK KAVRAMI

“Genom” terimi ilk olarak 1920’de Almanya’nın Hamburg kentinde botanik profesörü Hans Winkler tarafından tanıtılmıştır. “Genom” terimi, DNA’nın genetik bilgi taşıdığı keşfedilmesinden önce, bir organizmadaki kalıtsal genetik materyalin tamamını ifade etmek üzere türetilmiştir. “Genom” terimi şu anda ökaryotlarda haploid bir kromozom setinde mevcut olan DNA’nın tamamını, bakterilerde tek bir kromozomu veya virüslerde bulunan tüm DNA veya RNA’yı belirtmek için kullanılmaktadır. Son ek “ome” tümü veya her olarak Yunancadan türemiştir. Yakın tarihte büyük ölçekli biyolojinin diğer yönlerini içeren ilgili çalışma alanlarını tanımlamak için çeşitli neolojist ome eki kullanılmıştır.

1990’lı yıllarda çevresel sistemleri incelemek için 16S rRNA gen dizilimi gibi ileri teknikler kullanılmış ve bu da çok çeşitli organizmaların keşfedilmesine yol açmış (Banis ve diğ., 1994). Temel mikrobiyal sistemleri tespit etme gerekliliği, yalnızca bir veya bir avuç genin yerini

belirlemek için yetersizdi. Sonuç olarak, belirli bir ekosistemde mevcut olan genetik değişkenliğin tamamını karakterize etmek için yeni metodolojiler geliştirilmiştir. Burada kullanılan yöntem, gerçek çevresel örneklerden ekstrakte edilen tüm DNA'nın dizilenmesini gerektiren metagenomiktir. Metagenomik son yıllarda mikrobiyoloji alanında hızlı bir büyüme göstermiştir ve artık standart bir prosedür haline gelmiştir. Ancak hâlâ aşılması gereken başka zorluklar var. Metagenomik, son yıllarda metagenomik girişimlerden elde edilen bilgilere güncel ve kapsamlı bir genel bakış sağlar ve ayrıca gelecekteki gereksinimleri ve ilerlemeleri tahmin eder (Karen, 2015).

Metagenomik, çeşitli metodolojileri ve yöntemleri kapsayan, hem araştırma araçları koleksiyonu hem de ayrı bir çalışma alanı olarak hizmet veren bir araştırma konusudur. Yunanca "meta" kelimesi İngilizce'de "üstün" anlamına gelmektedir. Metagenomik, klinik ve çevresel mikrobiyolojide ilerlemenin önünde büyük engeller olan çok sayıda mikroorganizmanın kültürlenmesindeki yetersizlik ve genetik çeşitlilikten kaynaklanan zorlukların üstesinden gelmektedir. Metagenomik, bakterilerin kültürlenmesine gerek kalmadan tüm mikrobiyal toplulukların DNA'sının analiz edilmesini içeren bilimsel bir yaklaşımdır. Mikroorganizmaların incelenmesi için kültürden bağımsız bir yöntem sağlar. Analizlerini geliştirir (Karen, 2015). Meta, genetik yapının ve yalnızca popülasyondan örneklenebilen ancak hiçbir zaman tam olarak karakterize edilemeyen karmaşık süreçlerin en üst düzeyde anlaşılmasını optimize eden hesaplamalı tekniklerin geliştirilmesinin gerekliliğini kabul eder. İkinci anlamda Bilimsel bir alanın metalarına atıfta bulunan bu yeni bilim, toplumdaki bireysel organizmanın ötesine geçen genlere odaklanarak biyolojiyi kolektif düzeyde kavramayı amaçlamaktadır. Kolektif amaçları gerçekleştirmek için genlerin birbirleriyle nasıl etkileşime girebileceğini anlamaya çalışır. Kuşkusuz, bireysel yaratıklar topluluk faaliyetlerinin ayrılmaz bileşenleri olmaya devam etmektedir ve metagenomiklerin bireyler ve genomları üzerindeki araştırmaları geliştirip canlandıracağı öngörülmektedir. Gelecekte metagenomik yaklaşımın, geleneksel mikrobiyoloji yaklaşımının ve organizma düzeyindeki genomun birleşeceği beklentisi vardır. Biyosferde var olan birbirine bağlı toplulukların bir derlemesi ve hem insanlığın kalıntılarından etkilenen hem de onlara bağımlı olan karmaşık bir sistem ağı olarak yorumlanabilir. Bazı durumlarda acil ve önemli konuları kavramak için yeni metodolojilerin kullanılması mümkün olabilir.

Metagenomik artık kesin olarak belirli bir tanımla sınırlı değil. Toplulukların ve üyelerinin genom düzeyinde analizinin yanı sıra genomikten türetilen yüksek verimli yöntemlerin kullanıldığı gen düzeyindeki çalışmaları da kapsamaktadır. Ek olarak, birden fazla organizmanın ve biyosferin davranışını genomik düzeyde anlamayı amaçlayan diğer omik çalışmaları da içerir. ‘Topluluklar ve biyosfer’ ifadesindeki ‘biyosfer’ terimi, ‘organizmalar’ ile değiştirilmiştir.

2.8.1. Metagenomiğin Amacı

Geleneksel olarak mikroorganizmalar ilgi konusu birincil organizmalar olarak incelenirken, araştırmalar çoğunlukla onların çevrelerine girebilecek temel kimyasal maddelere verdikleri tepkilere odaklanıyordu. Bakterilerin içme suyundaki stratejik topluluklarda veya metabolik konsorsiyumlarda ortak olarak hareket ettiklerinde davranışları hakkında daha az bilgi vardır. Buna, dış hijyeni uzmanlarının özellikle ilgisini çeken karmaşık biyofilmler oluşturan konsorsiyumlar da dahildir. Bir mikrobiyal topluluğun görünmez üyelerinin metabolik faaliyetleri ve etkileşimleri, hem farklı türler arasında hem de aynı tür içinde önemli farklılıklar sergileyebilir.

Metagenomik teknikler, dünya çapında hem ılımlı hem de zorlu ortamlarda görülen karmaşık mikrobiyal toplulukların filogenetik ve fonksiyonel çeşitliliğinin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlar. Yeni nesil dizileme teknolojilerinin ortaya çıkışı, metagenomikte DNA moleküllerinin uygun maliyetli, yüksek verimli diziliminin gerçekleştirilmesini mümkün kılmıştır. Sonuç olarak, mikrobiyal topluluk değerlendirmelerinin çözünürlüğü önemli ölçüde iyileşmiştir. Ek olarak metagenomik kütüphanelerin taranması, toprak, okyanus, buzullar veya işkembe gibi farklı kaynaklardan elde edilen çeşitli yem biyomoleküllerinin keşfiyle sonuçlanmıştır (Karen, 2015).

2.8.2. Metagenomiğin Uygulama Alanları

Metagenomik, çeşitli sektörlerdeki ilerlemelere ve büyümeye önemli katkılar sağlama potansiyeline sahiptir. Metagenomik, insanlığın karşılaştığı zorlukları etkili bir şekilde ele almak için gerçekçi bir araç sağlamaktadır. Dünyadaki çeşitli mikrobiyal popülasyonların gizemlerini anlamak, biyotıp, tarım ve çevre yönetimi alanlarındaki çeşitli engellerin aşılmasına yönelik içgörüler sağlayacaktır. Bu tekniğin en dikkate değer olası katkıları yer bilimi, yaşam

bilimi, biyomedikal bilimi, biyoenerji, biyolojik iyileştirme, biyoteknoloji, tarım, biyosavunma ve mikrobiyal adli tıp alanlarında yatmaktadır.

Yer Bilimleri: Küresel çevresel süreçleri, değişiklikleri ve uzun vadeli yaşayabilirliği doğru bir şekilde karakterize etmek ve tahmin etmek için mikrobiyal ekosistemlerin genom tabanlı modellerinin geliştirilmesi.

Yaşam Bilimleri: Mikrobiyal biyoloji, ekoloji ve topluluklar içindeki evrim çalışmalarında yeni teorilerin ve tahmin yeteneklerinin geliştirilmesi.

Biyomedikal Bilimler: Bu metin, vücudumuzdaki mikroorganizmaların birleşik genetik materyalini ifade eden insan mikrobiyomunun bireylerin ve popülasyonların sağlığını ve hastalıklarını nasıl etkilediğine dair genel bir bakış sunmaktadır. Ayrıca bu anlayışın kesin ve etkili terapötik yaklaşımlar üretmek için nasıl kullanılabileceğini de araştırmaktadır.

Biyoenerji araştırmaları, ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir, aynı zamanda küresel politikaların neden olduğu bozulmaya daha az duyarlı yeni biyoenerji kaynakları yaratmak için mikrobiyal sistem ve süreçlerin geliştirilmesine odaklanmaktadır.

Biyoremediasyon, iklim değişikliğinden sızıntı yapan gaz depolama tanklarına kadar çeşitli ölçeklerde çevresel bozulmayı izlemek ve ele almak için araçların oluşturulmasını ve mikrop bazlı yaklaşımların kullanılmasını içerir. Nihai amaç sağlıklı ekosistemleri onarmak ve sürdürmektir.

Biyoteknoloji, değerli endüstriyel, gıda ve sağlık lifleri oluşturmak için mikrobiyal popülasyonların yüksek derecede uyarlanabilir ve çeşitli biyosentetik yeteneklerini tanımlama ve kullanma sürecini ifade eder.

Tarım: Amaç, bitki ve hayvan hastalıkları gibi gıda üretimine yönelik potansiyel riskleri belirlemek ve zararlı mikrobiyal kirleticileri anında tespit ederek gıda güvenliğini sağlamak için etkili ve kapsamlı teknikler oluşturmaktır. Ek olarak, çabalar yerli bitki ve hayvanların içindeki ve çevresindeki mikrobiyal toplulukların olumlu özelliklerinin optimize edilmesine odaklanmaktadır.

Biyosavunma ve Mikrobiyal Adli Tıp, potansiyel biyoterörizm ajanlarına karşı daha iyi aşuların ve tedavilerin geliştirilmesini, bilinen ve potansiyel hastalığa neden olan ajanlar için

mikrobiyal ekosistemlerin izlenmesi için genetik biosensörlerin kullanılmasını ve savaşta yer alan mikropların doğru tanımlanmasını ve analizini ve dolayısıyla terörizme karşı mücadeleyi içerir. Mikrobiyal oluşumun araştırılmasına ve bunların kullanımından sorumlu grupların belirlenmesine katkıda bulunmak.

Kültürü yapılamayan mikroplar, dünyanın doğal biyolojik çeşitliliğinin korunmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. Genellikle doğal ekosistemlerde bulunan mikroorganizmaların %99'undan fazlası laboratuvar ortamında yetiştirilemez. Bu nedenle bu mikroorganizmaların tanımlanması, tanımlanması ve biyolojik havzadaki ekolojik fonksiyonlarının ortaya çıkarılması için kültürden bağımsız yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Metagenomik, bir mikrobiyal topluluğun genomlarını, kültürel özelliklerinden bağımsız olarak analiz etme yöntemidir. Bu analiz, dizileme yoluyla veya genomların fonksiyonları incelenerek yapılabilir. Bunu yaparak topluluğun yapısının yanı sıra üyelerinin genetik ve metabolik yetenekleri hakkında da değerli bilgiler toplanabilmektedir. Bu yaklaşım bize bu mikroorganizmaların biyolojisinin daha derinlemesine anlaşılmasını sağlar. Kültüre dayanmayan bir diğer yöntem ise tek hücre genomıdır. Bu teknik, mikrobiyal topluluk hakkında bilgi edinmek için tek bir hücrenin genomunun izole edilmesini ve dizilenmesini içerir (Mardanov ve diğ., 2018).

2.9. İLGİLİ ARAŞTIRMALAR

Bal ve diğ., (2022) tarafından araştırmada, Balıkesir/Antandros Antik Kenti nekropolünden doğrudan toplanan toprak örneklerinde bulunan mikroorganizmalardan kültüre gerek kalmadan DNA elde edilmesi amaçlanmıştır. Daha sonra 16S rRNA genlerinin V3-V4 bölgelerinin amplifikasyonu için PCR yöntemi kullanılmıştır. Geliştirilen bölümler Illumina MiSeq teknolojisi kullanılarak sıralanmıştır. Elde edilen diziler, QIIME 1.9.1 kullanılarak metagenomik analize tabi tutuldu ve mikrobiyal çeşitlilik değerlendirilmiştir.

Gökdemir ve diğ., (2023) tarafından yapılan bir araştırmada ise Farklı kan gruplarına bağlı orman topraklarında aktinomiset çeşitliliğinin belirlenmesi; Metagenomik öncesi klasik yaklaşımlar değerlendirilmiştir. Çalışma, iki hafta boyunca sekiz farklı kan grubuna maruz bırakılan orman toprağı örneklerinden ve bir kontrol grubundan Actinobacteria'nın izolasyonunu içeriyordu. Genomik DNA'nın izole edilmesi, 16S rRNA geninin PCR ile amplifikasyonu ve elde edilen dizilerin analiz edilmesi işlemi, karşılaştırmalı koloni morfolojileri dikkate alınarak seçilen koloniler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma

sonucunda Aktinobakterilerin toprak örneklerinin birçoğundan izole edilememesi, bakteri sporlarını bozabilen kanların kimyasal ya da enzimatik özelliklerinin olduğu vurgulanmıştır.

Çakar (2013) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, Kefir florasındaki mikrobiyal çeşitliliğin yeni nesil dizileme yöntemi ile metagenomik olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Kefir taneleri, bakteri ve maya kolonisi ile birlikte gelişen kompakt bir polisakkarit yapıya sahiptir. Bu yapı, sütün fermente edilmesini sağlayarak kefirin besleyici, prebiyotik ve probiyotik özelliklerine katkıda bulunarak onu fonksiyonel bir gıda olarak kullanıma uygun hale getirir. Amaç, metagenomikleri yeni, uygun ve son derece hassas bir şekilde kullanarak mikrobiyal içerik analizinin yeteneklerini geliştirmektir. Başlangıçta, farklı kaynaklardan elde edilen iki farklı kefir örneğinin toplam metagenomik DNA'ları ekstrakte edilmiştir. Sıralama, uygun protokol izlenerek GS FLX makinesinde pirosekanslama yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar iki farklı biyoformatik yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Çeşitli kaynaklardan elde edilen kefirler farklı türler içerirse de, her iki örnekte de hakim olan cins *Lactobacillus*'tur. Gözlemler, farklı kaynaklardan elde edilen kefirlerin bileşiminde farklılıklar olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Demirbaş ve Tosun (2005), çalışmalarında, sanayi sektöründe tarım ürünlerinin "hammadde", sanayi ürünlerinin ise "tarımsal girdi" işlevi gördüğünü ileri sürmüşlerdir. Ayrıca tarımda sermaye birikiminin yetersiz olması nedeniyle sanayi sektörüne aktarımının istenilen düzeyde sağlanamadığını, bunun da tarım-sanayi ilişkisinin yeterince güçlendirilemediğini açıklamışlardır.

Bayram, Yolcu ve Aksakal (2006) "Türkiye'de Organik Tarım ve Sorunlar" başlıklı çalışmalarında organik tarımda önemli bir sorunu, üreticiler arasındaki organizasyon eksikliğini tespit etmişlerdir. Küçük alanlarda denetim ve belgelendirme kuruluşlarıyla anlaşma yapılmasının maliyetlerin artmasına yol açabileceğini de kaydetmişlerdir.

Çakmak ve Aküzüm (2006) çalışmalarında Türk tarımında su yönetimi konularını ele almıştır. Ülkemizde 20 milyon hektar alanın sulanması potansiyeli bulunmasına rağmen mevcut su kaynaklarının bu amaçla yetersiz olduğunun altını çizmişlerdir. Ancak sulmuş tarım bölgelerinde toprak-bitki-su etkileşimlerinin çevre üzerindeki etkilerine yeterince önem verilmediği kaydedilmiştir. Sonuç olarak üreticiler yetersiz eğitim nedeniyle sıklıkla aşırı miktarda su kullanıyor, bu da drenaj sorunları ve tuzluluk gibi çeşitli sorunlara yol açmaktadır.

Doğan, Arslan ve Berkman (2015) makalelerinde tarım sektörünün karşılaştığı zorluklara da değinmişlerdir. Tarımın 1980'li yıllara kadar ekonomiyi yönlendirmede önemli bir role sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak 1980'li yıllardan itibaren serbest piyasa ekonomisine geçiş, sanayileşme, hizmet sektörlerindeki hızlı büyüme gibi faktörler nedeniyle tarımın ekonomiye katkısı azalmaya başlamıştır.

Özkan (2016), çalışmasında, bazı küçük tarım işletmelerinin topraklarını satarak veya bölerek çiftçiliği bırakmayı tercih ettiğini, büyük işletmelerin ise tarımsal desteklerden yararlanarak işlenmiş tarıma geçtiğini gözlemlemiştir. Ayrıca yeni işbirlikleri kurarak sektörde kalmaya gayret ettiklerini ifade etmiştir. Ayrıca Anadolu'da bir zamanlar oldukça fazla olan tohum çeşitliliğinin, yabancı ülkelere ithal edilen sertifikalı tohumların sınırlı olması nedeniyle giderek azaldığını da ifade etmiştir. Çeşitlilikteki bu azalmanın, meyve ve sebzelerin tatlarında çeşitlilik eksikliğine yol açarak onları monoton hale getirdiğini belirtmiştir. Japonya'da doğan Masanobu Fukuoka, doğal tarım yöntemini incelediği sırada toprağın sürmeye ve işlemeye gerek kalmadan verimli olabileceğini keşfetmiştir. Ayrıca ekosistemin doğal dengesinin korunmasıyla tarımsal üretimin sağlanabileceğini bulmuştur.

Sav ve Sayın (2018), makalelerinde, tarım desteklerinin gelişimini ve bireylerin kalma eğilimini etkileyen olumlu ve olumsuz çeşitli faktörleri incelemiştir. Bakanlık, 2017 yılında mazot, gübre, toprak analizi, organik tarım gibi konularda alan bazlı destek sağlamıştır. Ayrıca, tarımın Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYİH) içindeki payının da zamanla azaldığını ileri sürmektedir. Türkiye'de uygulanan tarım desteklerinin çiftçilerin tarıma devam etmesini garanti altına almakta yetersiz kaldığı ortaya çıkmıştır.

Önal (2019), makalesinde, 2002-2018 döneminde toplam tarım arazilerinde azalma olduğunu bildirmiştir. Açıklamada, tarımsal girdi giderlerindeki artışın döviz kurundaki dalgalanmalardan etkilenen ürün fiyatlarıyla doğrudan ilişkili olduğu belirtilmiştir. Ona göre, 2018 yılında tarım ürünü ihracatında yeni bir rekor kırılmıştır. Bunun nedeni, 2018 ortasında döviz kurundaki artışın o yıl üretim giderlerinde artışa yol açmamasına bağlanmıştır. O yıl çiftçilerden alınan eşyaların yurt dışında Türk Lirası cinsinden yüksek kurla satılmasıyla orantısız kâr elde edildiği açıklanmıştır.

Semerci (2019), çalışmasında, 2015 yılında devlet bütçesinin yaklaşık %2'sinin tarımsal desteklemeye ayrıldığını bildirmiştir. Bu tahsis diğer ülkelerle karşılaştırıldığında çok daha

düşüktür. Ona göre, Türk üreticilerin yardım ödemelerinden yararlanabilmesi için çiftçi kayıt sistemine (ÇKS) kaydolmaları gerekmekte olduğu belirlenmiştir. ÇKS'ye kayıtlı üreticiler Avrupa ülkelerine göre çok daha az destek almaktadırlar. Sonuç olarak, Türkiye'nin sürekli gelişen ve ilerleyen küresel ekonomideki payının artırılması için, Türkiye'nin tarımsal üretimi destekleme uygulamalarında kısa vadeli, geçici ve pahalı politikalar uygulamaktan vazgeçmesi gerektiğini ileri sürmüştür.

Metagenomik bugüne kadar çok sayıda araştırmada kullanıldı. Quaiser ve ark. (2002), toprakta bulunan işlenmemiş bir Crenarchaeote'nin genomunu inceledi. Bu çalışma, DNA'nın göstergesi olan rRNA genlerini sıralamak için metagenomik analizden yararlandı. Araştırma boyunca, proteinleri kodlamaktan sorumlu olduğuna inanılan toplam 17 gen başarıyla çıkarıldı. Venter ve ark. 2004 yılında yapılan bir çalışmada, hem tüm genom Shotgun sıralama yaklaşımı hem de klasik Sanger sıralama yöntemi kullanılarak Sargasso Denizi'nden toplanan bir örnekten 1 milyardan fazla baz çifti dizilenmiştir.

Poinar ve ark. 2006 yılında araştırmacılar, Sibiry'a'da toplanan yünlü bir mamut (*Mammuthus primigenius*) örneğinden 28 milyon baz çifti DNA'yı sıralamak için metagenomik teknikler kullandılar. Dikkat çekici bir şekilde, numunenin korunması ve modern emülsiyon polimeraz zincir reaksiyonunun kullanılması nedeniyle, toplam 13 milyon baz çifti (dizilenen materyalin %45,4'ünü oluşturur) başarıyla mamut DNA'sı olarak tanındı. Afrika fili (*Loxodonta africana*) ile dizileme verileri arasındaki DNA dizi benzerliği %98,55 olarak belirlendi. Bu sonuç, bu türlerin yaklaşık 5-6 milyon yıl önce birbirlerinden ayrıldığını gösteren paleontolojik kanıtlarla örtüşmektedir. Son araştırmalarda metagenomik teknikler insan örneklerinde yeni virüslerin teşhisine önemli katkılar sağlamıştır. Bu virüslerin tanımlanması ve tanısının konulması sonucunda halk sağlığı alanında düzenlemeler hayata geçirilmiştir. Bu araştırmaların, daha önce tanımlanamayan virüslerin ve insanları etkileyen bulaşıcı patojenlerin hızlı bir şekilde tanımlanması için bir veri tabanı oluşturmak amacıyla gelecekte kullanılacak metagenomik perspektiflere dair içgörü sağlaması beklenmektedir (Svraka ve diğ., 2010).

Metagenomiklerin antik DNA araştırmalarında uygulanması ümit verici sonuçlar vermiştir. Greenbelt ve ark. (2004), 120 milyon yıl öncesine ait amberde korunan bir bakteri olan *Micrococcus luteus*'un DNA dizisini belirleme görevini başardı. Bunu metagenomik teknikleri kullanarak başarmışlardır. Dikkate değer bir diğer örnek ise Neolitik Tirol Buz Adamının (ÖTZI) midesinde mikropların tanımlanmasıdır. Yaklaşık 5300 yaşında olduğu tahmin edilen

Helicobacter pylori'nin genetik materyalinin tamamı tamamen dizilenmiştir. Küresel nüfusun yaklaşık %50'sinde bulunan bu bakteri, tükürük, yiyecek ve suyun dışıyla kirlenmesi ve kötü hijyen uygulamaları yoluyla bireyler arasında yayılabilir. Bu hastalığın insan popülasyonunda uzun süre devam ettiğine inanılmaktadır. Maixner ve ark. (2016), çeşitli bakterilerin genetik yapısını analiz etmenin, dünyanın farklı bölgelerine insan göçlerini takip etmek ve tanımlamak için güvenilir bir yöntem olabileceğini göstermektedir.

Noonan ve ark. 2006 yılında kültüre ihtiyaç duymadan Neandertal metagenomik kütüphanesinin oluşturulması amacıyla Hırvatistan'daki Vindija mağarasından örnekler toplanmıştır. Toplanan 38.000 yıllık örnekten genetik materyal izole edilmiştir. Yeni nesil dizileme teknolojisi kullanılarak 65250 baz çiftinden oluşan bir Neandertal genom dizisi elde edilmiştir. Soyu tükenmiş hominidler hakkında yeni bilgiler edinmek için araştırmacılar sıralama ve analiz yaparak bir Neandertal metagenomik kütüphanesi oluşturmuşlardır. Elde edilen sonuçlar, Hominid DNA dizisinin 65250 baz çiftinin Neandertallerden kaynaklandığını ortaya koymuştur. Bu çalışmanın bulgularından biri de Neandertal ve insan genomlarının minimum %99,5 benzerlik göstermesidir. Diş taşında av tüfeği sıralama yaklaşımı kullanılmış ve 16s rRNA genlerinin dizilenmesi sağlanmıştır. Bu süreç toplam 2699 fonksiyonel taksonomik birimin (OTU) tanımlanmasına yol açmıştır. Bu çalışma, antik oral mikrobiyotanın protein fonksiyonel karakterizasyonunu ve taksonomi analizini sunmaktadır. Çalışma, ağız boşluğunun hem lokalize doku koşulları hem de sistemik bozukluklarla ilişkili mikropları koruyan bir depo işlevi gördüğünü göstermiştir. Çalışma, eski bireylerin ağız mikrobiyotasını hastalıklarla ilişkili olarak tanımlamış ve tanımlamıştır. Ayrıca araştırmacılar 40 patojen, 239 bakteri proteini ve 43 insan proteinini tanımladı ve incelemiştir. Ayrıca eski insanlardan kaynaklandığına inanılan antibiyotik direnç genlerini de keşfetmişlerdir. Ayrıca periodontal patojen *Tannerella forsythia* türünün genomunu başarıyla elde etmişlerdir (Warinner ve ark., 2014).

Margesin ve diğ. (2017) yaptığı çalışmada Batı Sicilya'da bulunan Arkaik Monte Iato'da bulunan yerli bir yapıdan toprak örnekleri toplamıştır. Çalışmanın amacı bu yapıda mevcut mikrobiyal popülasyonları analiz etmektir. Yemek atıklarının atıldığı alanlardan ve şömineden toprak örnekleri alınmıştır. Bu çalışma bu yapıdan toplanan toprak örneklerindeki mikrobiyal çeşitliliği incelemeyi amaçlamaktadır. Toprak karakterizasyonundan elde edilen veriler, insan

tüketim alışkanlıklarının arkeolojik keşiflerde bulunan mikrobiyota üzerinde etkisi olduğu hipotezini doğrulamıştır.



3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. MALZEME

Toprak mikrobiyotası, toprak verimliliği üzerinde önemli bir role sahiptir. Verimli topraklar, yüksek biyolojik aktiviteye sahip geniş bir mikroorganizma çeşitliliği içerirken, verimsiz topraklar genellikle düşük biyolojik çeşitlilik ve mikroorganizma sayısına sahiptir (Pedrinho vd, 2024).. Bu konuda yapılan literatür taramaları, verimli ve verimsiz toprakların mikrobiyal bileşenlerinin karşılaştırılması üzerine yoğunlaşmaktadır.

3.1.1. Verimli Toprak Mikrobiyota Örneklem Grubu

Toprak mikrobiyotası, toprak sağlığını ve verimliliğini sürdüren önemli mikroorganizma topluluklarından oluşur. Bu mikrobiyal topluluklar, organik madde dönüşümünden besin döngülerine kadar bir dizi kritik işlevi yerine getirir. Verimli toprakların mikrobiyotası üzerine yapılan çalışmalar, bu toprakların bitki büyümesini destekleyen birçok faydalı mikroorganizma türüne ev sahipliği yaptığını ortaya koymaktadır. Örneğin, **bakteriyel** topluluklar, özellikle *Rhizobium*, *Bacillus* ve *Pseudomonas* gibi türler, azot döngüsü ve organik madde parçalanması gibi toprak verimliliği süreçlerinde anahtar rol oynamaktadır (Zhao ve ark., 2019). Bu mikroorganizmalar, bitki kökleriyle simbiyotik ilişkiler kurarak bitkilerin besin maddelerine daha kolay erişmelerini sağlar. Ayrıca, *mycorrhizal* mantarlar da, bitkilerin su ve besin emiliminde kritik rol oynayan önemli bir grup olarak öne çıkmaktadır (Smith ve Read, 2008). Verimli toprakların mikrobiyal çeşitliliği, yalnızca biyolojik zenginlikleriyle değil, aynı zamanda fonksiyonel olarak da çeşitlidir. Bu topraklardaki mikrobiyal topluluklar, organik maddelerin parçalanması, karbon döngüsü ve minerallerin bitkiler tarafından alınabilir hale getirilmesi gibi süreçlerde aktif rol alır. Yapılan bir çalışmada, tarımsal alanlarda kullanılan verimli toprakların mikrobiyal çeşitliliğinin, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine olumlu katkılar sağladığı gösterilmiştir (Hartmann ve ark., 2015).

Verimli topraklarda bulunan başlıca mikrobiyal gruplar (Le Roux ve diğ., 2023; Yang ve diğ., 2022):

1. Bakteriler

Bakteriler, toprak mikrobiyotasının en baskın ve çeşitlenen grubudur. Her bir bakteri türü, farklı çevresel koşullara adapte olarak toprak işlevlerine katkı sağlar (Le Roux ve diğ., 2023; Yang ve diğ., 2022):

- **Actinobacteria** (*Streptomyces* spp., *Actinomyces* spp.): Organik maddelerin ayrışmasında rol oynar, toprak biyolojik döngüsüne katkı sağlar.
- **Firmicutes** (*Bacillus* spp., *Clostridium* spp.): Kurak ve tuzlu topraklarda hayatta kalan dayanıklı bakteriler olup, besin döngüsünü etkiler.
- **Proteobacteria** (*Pseudomonas* spp., *Azotobacter* spp.): Azot fiksasyonu ve organik madde ayrışmasında önemli rol oynar.
- **Acidobacteria** (*Acidobacterium capsulatum*): Asidik topraklarda bulunan bakteriler, düşük pH seviyelerine adapte olmuştur.

2. Mantarlar

Mantarlar, verimli toprakların mikrobiyal topluluklarında önemli yer tutar. Bitkilerle simbiyotik ilişkiler kurarak toprak sağlığını iyileştirirler (Le Roux ve diğ., 2023; Yang ve diğ., 2022):

- **Mycorrhizal Mantarlar** (*Glomus* spp., *Rhizophagus* spp.): Bitki kökleriyle simbiyotik ilişki kurarak besin maddelerinin alınmasını artırır, toprak yapısını iyileştirir.
- **Fusarium spp.** (*Fusarium oxysporum*): Toprak hastalıkları ile mücadele eder, ancak bazı türleri bitkilere zarar verebilir.
- **Trichoderma spp.** (*Trichoderma harzianum*): Bitki patojenlerine karşı biyolojik mücadele sağlar.

3. Protozoalar

Protozoalar, toprak mikrobiyotasında bulunan ve bakterileri tüketerek besin döngüsüne katkı sağlayan tek hücreli organizmalardır (Le Roux ve diğ., 2023; Yang ve diğ., 2022):

- **Amoebae, Flagellates, Ciliates:** Bu protozoalar, topraktaki bakteri popülasyonlarını kontrol eder ve besin maddelerinin dönüşümünü hızlandırır.

4. Virüsler

Toprak virüsleri, mikrobiyal topluluklar arasında genetik materyalin transferini sağlayarak çeşitliliği artırabilir. Ayrıca bazı virüsler bakteriyofajlar olarak bilinir ve bakterileri enfekte eder (Le Roux ve diğ., 2023; Yang ve diğ., 2022).

- **Bakteriyofajlar:** Bakterileri enfekte eden virüsler, toprak mikroorganizma dinamiklerini düzenler.

5. Arkerler

Arkerler, ekstrem koşullara dayanıklı mikroorganizmalardır ve toprak mikrobiyotasında önemli bir rol oynarlar (Le Roux ve diğ., 2023; Yang ve diğ., 2022):

- **Methanogens:** Metan gazı üreten mikroorganizmalar, karbon döngüsünde yer alır.
- **Halofil bakteriler:** Tuzlu ortamlarda yaşayan mikroorganizmalar, toprakta tuzlu koşulların etkisini dengeler.

6. Algler

Toprak yüzeyinde bulunan algler, fotosentez yaparak karbon döngüsüne katkıda bulunur ve toprak yapısını iyileştirir.

- **Klorofilik Algler:** Toprak yüzeyindeki nemli ortamlarda yaşar ve fotosentez yaparak toprak besin döngüsüne katkı sağlar (Le Roux ve diğ., 2023; Yang ve diğ., 2022).

Verimli toprak mikrobiyotası, bu mikroorganizmaların etkileşimiyle besin maddelerinin dönüşümünü sağlar, toprak yapısını iyileştirir ve bitki büyümesini destekler.

Tablo 3.1: Verimli Toprak Mikrobiyota Örneklem Grubu (Calderon ve diğ., 2017; Maron ve diğ.2018 , Liv d, 2021 ; Le Roux ve diğ., 2023; Yang ve diğ., 2022):

Mikroorganizma / Mikrobiyal Topluluk	Türler / Özellikler ve Etkiler	Etkiler
Actinobacteria	Streptomyces spp., Actinomyces spp.	Düşük besin içeriği olan verimsiz topraklarda yaygındır ve organik maddeyi parçalarken toprağın biyolojik döngüsüne katkı sağlar.
Firmicutes	Bacillus spp., Clostridium spp.	Kurak, tuzlu veya düşük pH'lı topraklarda hayatta kalabilen, dayanıklı bakterilerdir. Verimsiz topraklarda yaygındır.
Clostridium spp.	Clostridium butyricum	Oksijensiz ortamlarda hayatta kalan anaerobik bakterilerdir, organik maddelerin ayrışmasını sağlar.
Acidobacteria	Acidobacterium capsulatum	Asidik topraklarda baskın olan bakteri grubudur, düşük pH seviyelerine adapte olmuştur.
Halophilic Bakteriler	Salinibacter ruber	Yüksek tuzluluk oranına sahip topraklarda bulunan bu bakteriler, ekstrem koşullara uyum sağlar.
Desulfovibrio spp.	Desulfovibrio desulfuricans	Sülfat indirgeme yeteneğine sahip bakteriler olup, anaerobik ve verimsiz topraklarda bulunurlar, besin döngülerine katkı sağlama kapasitesi sınırlıdır.
Fusarium spp.	Fusarium oxysporum	Verimsiz topraklarda bitkilerde hastalıklara yol açan patojen mantarlardır.
Pseudallescheria spp.	Pseudallescheria boydii	Yüksek pH, tuzluluk veya ağır metal içeriği gibi ekstrem çevre koşullarına uyum sağlayabilen mantar türleridir.
Alcaligenes spp.	Alcaligenes faecalis	Düşük besin içeriğine sahip fakir topraklarda bulunan bir bakteri grubudur, organik madde ayrışmasında sınırlıdır.
Azot Fiksasyonu	Rhizobium, Azospirillum gibi azot-fiksatörler	Azot eksikliği, bitki büyümesini olumsuz etkiler ve toprak besin yetersizliğine yol açar.

Tablo 3.1: Tablonun devam

Karbon Döngüsü	Karbon döngüsünden sorumlu mikroorganizmalar sınırlıdır	Organik madde ayrışmasının yavaşlaması, toprak besin seviyelerini düşürür.
Patojenler	Fusarium, Rhizoctonia gibi patojenler	Bitki köklerine zarar vererek büyümeyi engeller ve verim kaybına yol açar.
Oksijensiz Bakteriler	Clostridium türleri gibi oksijensiz ortamlarda hayatta kalan bakteriler	Toprağın oksijen içeriği düşük, bitki kök gelişimini engeller.
Tuzluluk Dayanıklı Mikroorganizmalar	Actinobacteria gibi tuza dayanıklı bakteriler	Organik madde ayrışması ve besin döngüsünü verimli bir şekilde gerçekleştiremezler.
Düşük Organik Madde	Organik madde içeriği düşük ve mikrobiyal aktivite sınırlıdır	Toprak mineral besinler açısından fakirleşir ve mikrobiyal işlevler sınırlı kalır.
Bacillus spp.	Bacillus subtilis, Bacillus megaterium	Bitki köklerinde kolonize olarak bitki büyümesini teşvik eder ve biyokontrol sağlar.
Pseudomonas spp.	Pseudomonas fluorescens, Pseudomonas putida	Organik maddeyi parçalayan, bitki köklerini patojenlerden koruyan ve biyolojik gübre olarak kullanılan bakteriler.
Azotobacter spp.	Azotobacter vinelandii	Atmosferdeki azotu serbest şekilde fiksleyerek toprağın azot döngüsüne katkıda bulunur.
Mycorrhizal Mantarlar (AMF)	Glomus spp., Rhizophagus spp.	Bitki kökleriyle simbiyotik ilişki kurarak su ve besin maddesi alımını artırır, toprak yapısını iyileştirir.
Trichoderma spp.	Trichoderma harzianum	Toprak patojenlerine karşı biyolojik mücadele eder ve bitki büyümesini teşvik eder.
Streptomyces spp.	Streptomyces griseus	Organik maddelerin ayrışmasında rol oynar, antibiyotik üretir ve bitki hastalıklarıyla mücadele eder.
Nitrobacter spp. ve Nitrosomonas spp.	Nitrobacter winogradskyi, Nitrosomonas europaea	Amonyumun nitratlara dönüşümünü gerçekleştirerek

		bitkiler için besin kaynağı nitrat üretir.
--	--	--

3.2. Verimsiz Toprak Mikrobiyota Örneklem Grubu

Verimsiz topraklar, genellikle düşük besin içeriği, düşük organik madde miktarı ve mikrobiyal aktivitenin sınırlı olduğu topraklardır. Bu tür topraklar, tarımsal üretkenlik açısından ciddi zorluklar yaratabilir. Ancak, verimsiz topraklarda bile çeşitli mikroorganizmalar, çevresel koşullara uyum sağlayarak hayatta kalabilmekte ve bu toprakların biyolojik döngüsüne katkı sağlamaktadır. Mikrobiyal topluluklar, bu topraklarda organik madde döngüsünü, besin döngüsünü ve toprak yapısını etkileyen önemli bir rol oynamaktadır. Buna karşılık, verimsiz topraklar daha düşük bir biyolojik çeşitliliğe sahip olup, bitki büyümesini destekleyen mikroorganizmaların daha az sayıda bulunduğu topraklardır. Bu topraklarda sıkça görülen mikrobiyal topluluklar, ekstrem koşullara adapte olmuş ve genellikle düşük besin maddesi miktarı ile yaşamlarını sürdüren organizmalardan oluşur (Schloter ve ark., 2003). Özellikle, yüksek tuz içeriğine, aşırı kuraklığa veya asidik pH seviyelerine sahip topraklar, bu gibi zorlu ortamlara dayanabilen bakteri ve mantar türleri ile karakterizedir. Örneğin, verimsiz topraklarda bulunan *Actinobacteria* ve *Firmicutes* türleri, toprak verimliliğini artıracak mikrobiyal işlevleri yeterince gerçekleştiremezler (Fierer ve Jackson, 2006).

Verimsiz toprakların mikrobiyal ekosistemlerinde ayrıca, hastalığa yol açan patojenik mikroorganizmaların varlığı da dikkat çekicidir. Bu mikroorganizmalar, bitkilerde hastalıklara neden olarak verimliliği daha da düşürür. Ayrıca, yapılan çalışmalarda verimsiz toprakların organik madde içeriği ve mikrobiyal aktivitesinin, verimli topraklara kıyasla önemli ölçüde düşük olduğu gözlemlenmiştir (Lauber ve ark., 2008).

Verimsiz topraklar, belirli çevresel faktörler nedeniyle mikrobiyal çeşitliliğin ve biyolojik aktivitelerin sınırlı olduğu topraklardır. Bu toprakların başlıca özellikler (Calderon ve diğ., 2017; Maron ve diğ.2018 , Liv d, 2021):

- **Düşük besin içeriği:** Toprak, bitkiler için gerekli olan azot, fosfor ve potasyum gibi besin elementlerinden yoksundur.

- **Düşük organik madde içeriği:** Organik maddelerin ayrışması yavaşlar ve toprakta besin döngüsü zayıflar.
- **Yüksek pH veya asidik ortamlar:** Toprağın pH değeri aşırı yüksek veya düşük olabilir, bu da bazı mikroorganizmaların hayatta kalmasını engelleyebilir.
- **Kuraklık ve tuzluluk:** Verimsiz topraklar, yüksek tuzluluk seviyelerine veya kuraklığa eğilimli olabilir.

Bu özellikler, verimsiz topraklardaki mikrobiyal toplulukların özel adaptasyonlar geliştirmesine neden olmuştur.

Verimsiz Topraklarda Bulunan Mikrobiyal Topluluklar ve Türler

Verimsiz topraklarda, belirli mikroorganizmalar çevresel stres faktörlerine uyum sağlamak için özelleşmiştir. Aşağıda, verimsiz topraklarda yaygın olarak bulunan mikroorganizmalar ve bunların etkileri incelenmişti(Calderon ve diğ., 2017; Maron ve diğ.2018 , Liv d, 2021):

1. Actinobacteria (Streptomyces spp. ve Actinomyces spp.)

- **Özellikler:** Düşük besin içeriği olan topraklarda yaygın olarak bulunurlar. Organik maddeyi parçalarken toprağın biyolojik döngüsüne katkı sağlarlar.
- **Etkiler:** Organik maddelerin ayrışmasını sağlayarak toprak sağlığını iyileştirir ve mikroorganizmaların besin döngüsüne katkı yapar.

2. Firmicutes (Bacillus spp. ve Clostridium spp.)

- **Özellikler:** Kurak, tuzlu veya düşük pH'lı topraklarda hayatta kalabilen, dayanıklı bakterilerdir.
- **Etkiler:** Verimsiz topraklarda bu bakteriler, bitkiler için besinlerin serbest kalmasını sağlar ve organik madde ayrışmasını hızlandırabilir.

3. Clostridium spp. (Clostridium butyricum)

- **Özellikler:** Anaerobik ortamlarda hayatta kalabilen ve organik maddeleri ayrıştırabilen bakterilerdir.

- **Etkiler:** Oksijensiz koşullarda organik madde ayrışmasını gerçekleştirerek toprakta besin döngüsüne katkı sağlarlar.

4. Acidobacteria (*Acidobacterium capsulatum*)

- **Özellikler:** Asidik topraklarda baskın olan bakteri grubudur ve düşük pH seviyelerine adapte olmuşlardır.
- **Etkiler:** Asidik topraklarda organik madde ayrışmasını sağlar, ancak toprak verimliliği üzerinde sınırlı etkileri olabilir.

5. Halophilic Bakteriler (*Salinibacter ruber*)

- **Özellikler:** Yüksek tuzluluk oranına sahip topraklarda bulunan bu bakteriler ekstrem koşullara uyum sağlarlar.
- **Etkiler:** Tuzlu ortamlarda organik madde ayrışmasını sağlar, ancak besin döngüsünün etkinliği sınırlı olabilir.

6. Patojenler (*Fusarium spp.* ve *Rhizoctonia spp.*)

- **Özellikler:** Verimsiz topraklarda bitkilerde hastalıklara yol açan patojen mantarlardır.
- **Etkiler:** Bitki köklerine zarar vererek büyümeyi engeller ve verim kaybına yol açar.

7. Azot-Fiksatorler (*Rhizobium spp.* ve *Azospirillum spp.*)

- **Özellikler:** Azot eksikliği, bitki büyümesini olumsuz etkileyebilir. Azot-fiksatorler, atmosferdeki serbest azotu bağlayarak toprağa besin kaynağı kazandırır.
- **Etkiler:** Azot döngüsünü düzenler ve verimsiz topraklarda bitki büyümesini destekler.

Tablo 3.2: Verimsiz Toprak Mikrobiyota Örneklem Grubu (Calderon ve diğ., 2017; Maron ve diğ.2018 , Liv d, 2021; Le Roux ve diğ., 2023; Yang ve diğ., 2022):

Mikroorganizma / Mikrobiyal Topluluk	Türler / Özellikler ve Etkiler	Etkiler
Actinobacteria	Streptomyces spp., Actinomyces spp.	Düşük besin içeriği olan verimsiz topraklarda yaygındır ve organik maddeyi parçalarken toprağın biyolojik döngüsüne katkı sağlar.
Firmicutes	Bacillus spp., Clostridium spp.	Kurak, tuzlu veya düşük pH'lı topraklarda hayatta kalabilen, dayanıklı bakterilerdir. Verimsiz topraklarda yaygındır.
Clostridium spp.	Clostridium butyricum	Oksijensiz ortamlarda hayatta kalan anaerobik bakterilerdir, organik maddelerin ayrışmasını sağlar.
Acidobacteria	Acidobacterium capsulatum	Asidik topraklarda baskın olan bakteri grubudur, düşük pH seviyelerine adapte olmuştur.
Halophilic Bakteriler	Salinibacter ruber	Yüksek tuzluluk oranına sahip topraklarda bulunan bu bakteriler, ekstrem koşullara uyum sağlar.
Desulfovibrio spp.	Desulfovibrio desulfuricans	Sülfat indirgeme yeteneğine sahip bakteriler olup, anaerobik ve verimsiz topraklarda bulunurlar, besin döngülerine katkı sağlama kapasitesi sınırlıdır.
Fusarium spp.	Fusarium oxysporum	Verimsiz topraklarda bitkilerde hastalıklara yol açan patojen mantarlardır.
Pseudallescheria spp.	Pseudallescheria boydii	Yüksek pH, tuzluluk veya ağır metal içeriği gibi ekstrem çevre koşullarına uyum sağlayabilen mantar türleridir.
Alcaligenes spp.	Alcaligenes faecalis	Düşük besin içeriğine sahip fakir topraklarda bulunan bir bakteri grubudur, organik madde ayrışmasında sınırlıdır.
Azot Fiksasyonu	Rhizobium, Azospirillum gibi azot-fiksatörler	Azot eksikliği, bitki büyümesini olumsuz etkiler ve toprak besin yetersizliğine yol açar.
Karbon Döngüsü	Karbon döngüsünden sorumlu mikroorganizmalar sınırlıdır	Organik madde ayrışmasının yavaşlaması, toprak besin seviyelerini düşürür.
Patojenler	Fusarium, Rhizoctonia gibi patojenler	Bitki köklerine zarar vererek büyümeyi engeller ve verim kaybına yol açar.
Oksijensiz Bakteriler	Clostridium türleri gibi oksijensiz ortamlarda hayatta kalan bakteriler	Toprağın oksijen içeriği düşük, bitki kök gelişimini engeller.
Tuzluluk Dayanıklı Mikroorganizmalar	Actinobacteria gibi tuza dayanıklı bakteriler	Organik madde ayrışması ve besin döngüsünü verimli bir şekilde gerçekleştiremezler.
Düşük Organik Madde	Organik madde içeriği düşük ve mikrobiyal aktivite sınırlıdır	Toprak mineral besinler açısından fakirleşir ve mikrobiyal işlevler sınırlı kalır.

3.2. YÖNTEM

Toprak mikrobiyotasının karmaşık yapısını ve işlevselliğini anlamak için biyoinformatik analiz yapılmıştır. Bu analizler, farklı toprak ortamlarındaki mikrobiyal toplulukların yapılarını, birbirleriyle olan ilişkilerini ve ekosistemdeki rollerini ortaya koymaktadır.

- **Genetik Çeşitlilik Analizi (Alfa Çeşitlilik)**

Bu analiz, belirli bir toprak örneğindeki mikrobiyal türlerin zenginliğini ve eşitsizliğini ölçer. Bir toprakta ne kadar farklı türde mikroorganizma yaşadığını gösterir. Shannon, Simpson ve Chao1 gibi indeksler kullanılarak hesaplanır. Alfa çeşitliliği, toprağın sağlığı, verimliliği ve ekosistem hizmetleri hakkında önemli bilgiler sunar.

- **Fonksiyonel Genom Karşılaştırması**

Bu analiz, mikrobiyal toplulukların potansiyel işlevlerini tahmin eder. Yani, bu mikroorganizmaların toprakta hangi biyokimyasal işlemleri gerçekleştirebileceğini belirler. PICRUSt, HUMAnN ve KOALA gibi araçlar kullanılarak, 16S rRNA gen verilerinden metagenomik bilgiye ulaşılır ve böylece mikrobiyal toplulukların metabolik potansiyelleri hakkında çıkarımlar yapılır.

- **Beta Çeşitlilik Analizi**

Beta çeşitlilik, farklı toprak örnekleri arasındaki mikrobiyal toplulukların benzerlik veya farklılıklarını ölçer. Bu analiz, çevresel faktörlerin mikrobiyal toplulukların dağılımı üzerindeki etkisini anlamayı sağlar. Bray-Curtis ve UniFrac gibi uzaklık ölçüleri kullanılarak, farklı toprak örnekleri arasındaki benzerlik veya farklılıklar hesaplanır. PCoA veya NMDS gibi yöntemlerle de bu sonuçlar görselleştirilir.

- **Pathway Analizi**

Pathway analizi, mikrobiyal toplulukların metabolik yollarını ve bu yollar arasındaki etkileşimleri inceler. Bu analiz, mikrobiyal toplulukların çevresel koşullara nasıl adapte

olduğunu ve hangi biyokimyasal süreçlerde rol oynadığını anlamamıza yardımcı olur. KEGG Pathway Database gibi veritabanları kullanılarak, mikrobiyal toplulukların hangi metabolik yolları kullandığı belirlenir.

Özetle, bu dört ana analiz yöntemi, toprak mikrobiyotasının çeşitli yönlerini aydınlatır. Alfa çeşitlilik, bir örneğin içindeki çeşitliliği, beta çeşitlilik farklı örnekler arasındaki çeşitliliği, fonksiyonel genom karşılaştırması ise mikrobiyal toplulukların potansiyel işlevlerini ve pathway analizi ise bu işlevlerin nasıl gerçekleştiğini inceler. Bu analizler sayesinde, toprak sağlığı, verimlilik ve çevresel etkiler hakkında daha detaylı bilgi edinmek mümkün olmaktadır.



4. BULGULAR

4.1. BİYOİNFORMATİK ANALİZ SONUÇLARI: VERİMLİ VE VERİMSİZ TOPRAKLARDAKİ MİKROORGANİZMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Tablo 4.1: Verimli Topraklardaki Mikroorganizmalar

Türler
Streptomyces spp., Actinomyces spp.
Bacillus spp., Clostridium spp.
Clostridium butyricum
Acidobacterium capsulatum
Salinibacter ruber
Desulfovibrio desulfuricans
Fusarium oxysporum
Pseudallescheria boydii
Alcaligenes faecalis
Rhizobium, Azospirillum gibi azot-fiksatorler
Karbon döngüsünden sorumlu mikroorganizmalar sınırlıdır
Fusarium, Rhizoctonia gibi patojenler
Clostridium türleri gibi oksijensiz ortamlarda hayatta kalan bakteriler
Actinobacteria gibi tuza dayanıklı bakteriler
Organik madde içeriği düşük ve mikrobiyal aktivite sınırlıdır
Bacillus subtilis, Bacillus megaterium
Pseudomonas fluorescens, Pseudomonas putida
Azotobacter vinelandii
Glomus spp., Rhizophagus spp.
Trichoderma harzianum
Streptomyces griseus
Nitrobacter winogradskyi, Nitrosomonas europaea

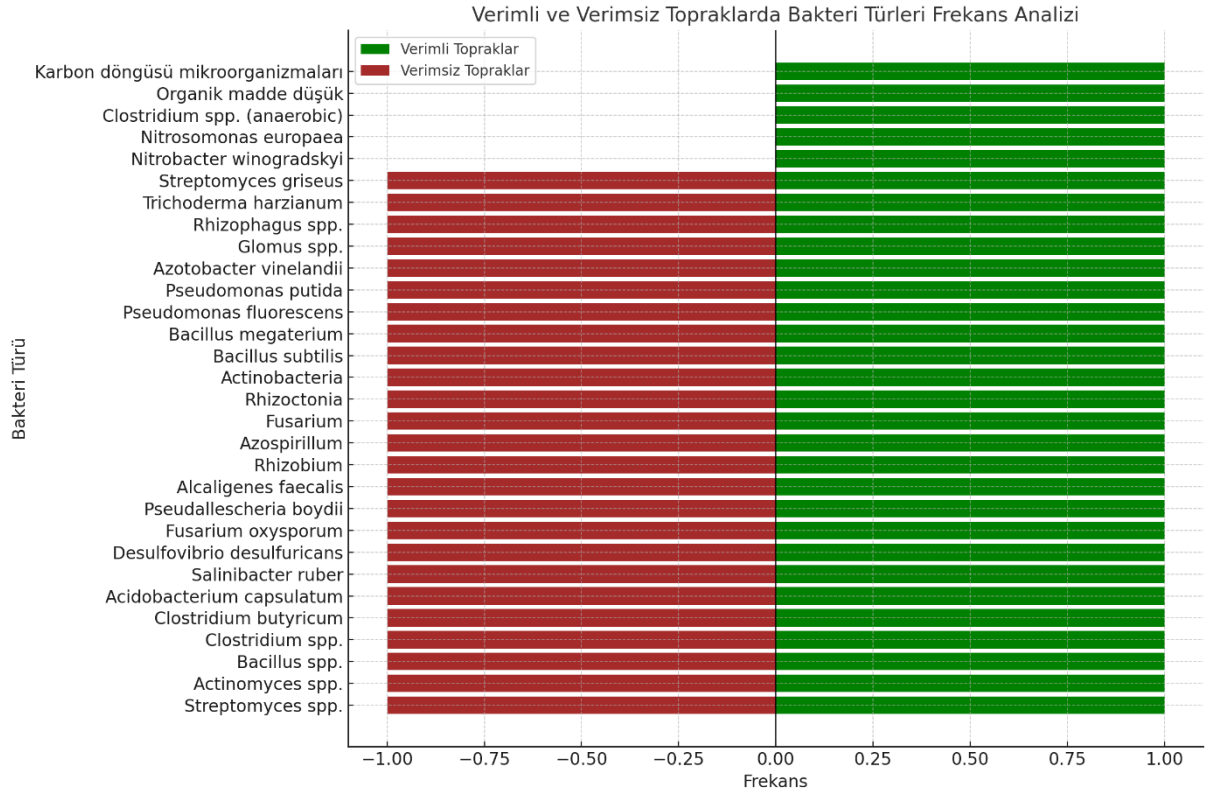
Tablo 4.2: Verimsiz Topraklardaki Mikroorganizmalar

Türler / Özellikler ve Etkiler
Streptomyces spp., Actinomyces spp.
Bacillus spp., Clostridium spp.
Clostridium butyricum
Acidobacterium capsulatum
Salinibacter ruber
Desulfovibrio desulfuricans
Fusarium oxysporum
Pseudallescheria boydii
Alcaligenes faecalis
Rhizobium, Azospirillum gibi azot-fiksatorler
Karbon döngüsünden sorumlu mikroorganizmalar sınırlıdır
Fusarium, Rhizoctonia gibi patojenler
Clostridium türleri gibi oksijensiz ortamlarda hayatta kalan bakteriler
Actinobacteria gibi tuza dayanıklı bakteriler
Organik madde içeriği düşük ve mikrobiyal aktivite sınırlıdır

Torprak Türü Mikroorganizma Türü Sayısı

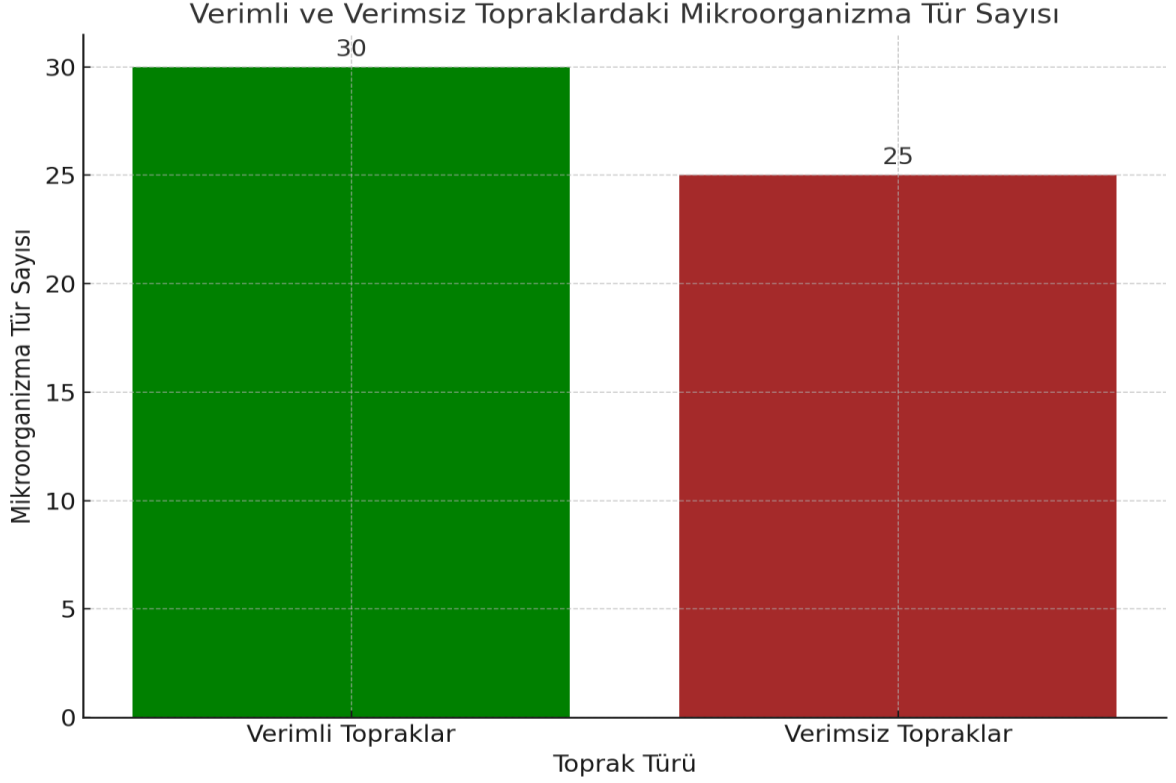
Verimli 30

Verimsiz 25



Şekil 4.1: Verimsiz Topraklardaki Mikroorganizmalar Dağılımı

Yukarıdaki grafik, verimli ve verimsiz topraklardaki mikroorganizma türlerinin varlık durumlarını karşılaştırmaktadır. Verimli toprak ve verimsiz toprak için mikroorganizmaların varlığı 1 ile gösterilmiştir (her iki toprak türünde de mevcut olan türler için).

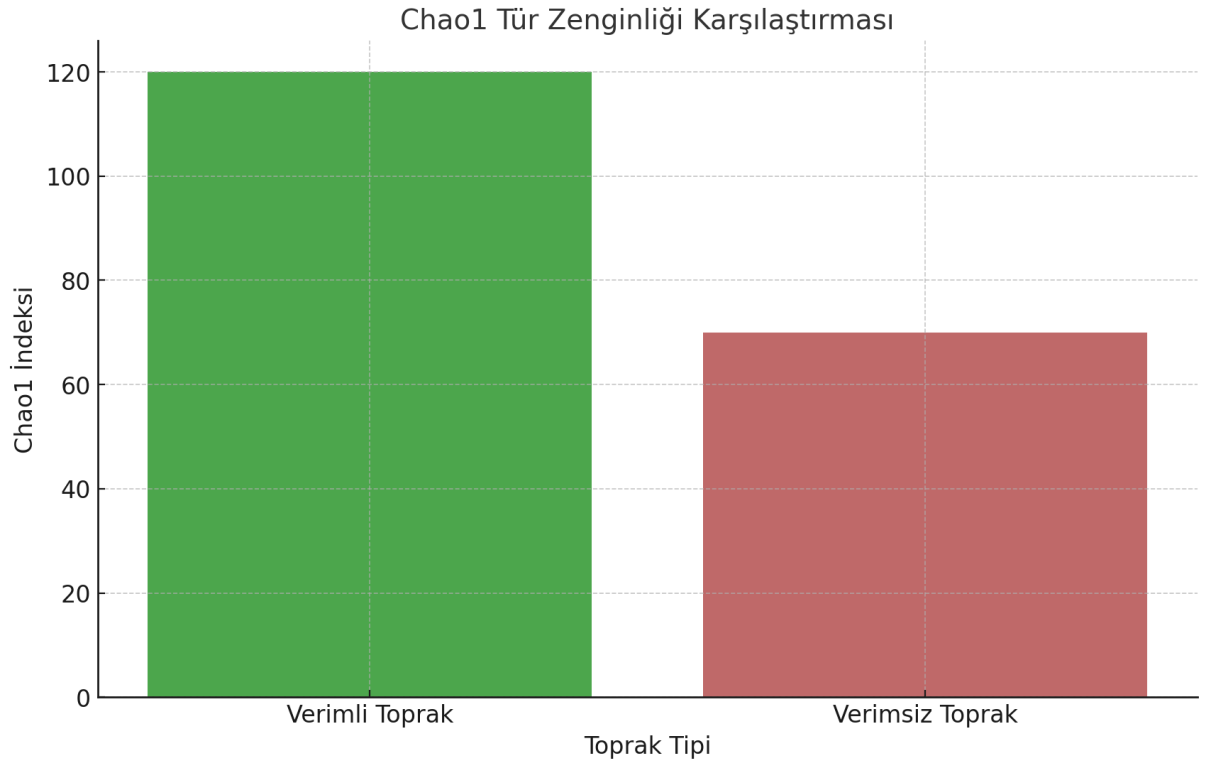


Şekil 4.2: Verimli ve Verimsiz Topraktaki Mikroorganizma Türlerinin Dağılımı

Yukarıdaki grafik, verimli ve verimsiz topraklarda bulunan mikroorganizma sayılarının oranını göstermektedir. Verimli toprakta 25 mikroorganizma türü, verimsiz toprakta ise 30 mikroorganizma türü bulunuyor.

4.1.1. Genetik Çeşitlilik Analizi (Alpha Diversity)

Alpha diversity analizini daha açıklayıcı hale getirmek için verileri organize edip tablo ve grafiklerle görselleştirelim. Ancak şu anda elinizde doğrudan bir veri seti olmadığından, genelleştirilmiş bir açıklama sunacağım. Eğer bir veri dosyanız varsa, onu yükleyerek daha spesifik bir analiz yapabiliriz.

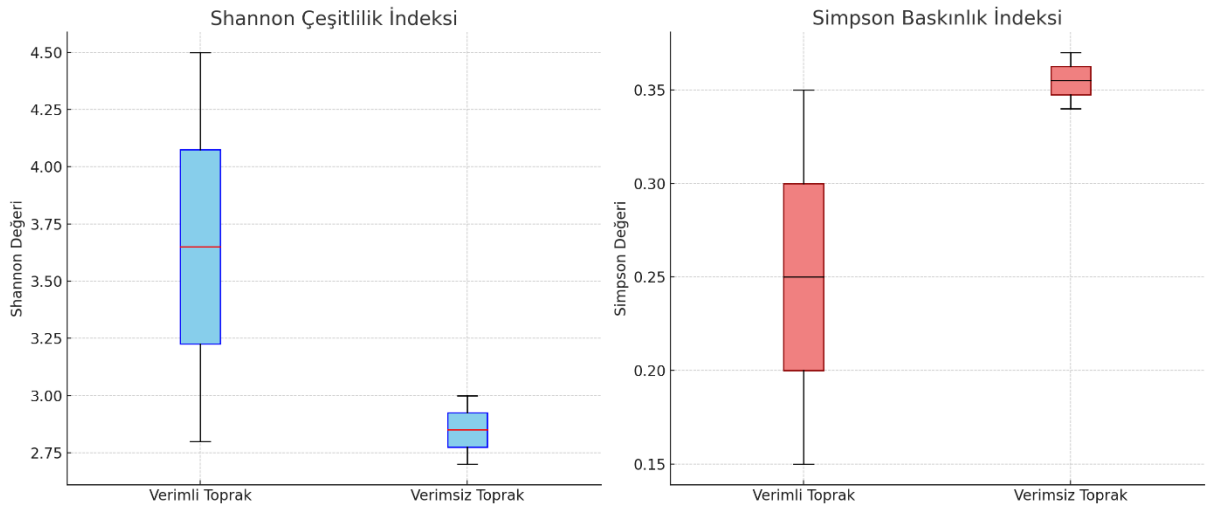


- **Simpson İndeksi:** verimsiz topraklara baskın türlerin oranı daha yüksektir, bu da mikrobiyal dengenin düşük olduğunu gösterir.

Alpha Diversity Karşılaştırması

- **Chao1 için Bar Grafiği:** Tür zenginliğini kıyaslamak için.
- **Shannon ve Simpson için Box Plot:** Tür eşitliği ve baskınlığı gösterir.

Şekil 4.3 :Türlerin Zenginliğinin Karşılaştırması



Şekil 4.4: Shannon Çeşitlilik ve Simpsın Baskınlık İndeksi

Toprak Tipi	Chao1 (Zenginlik)	Shannon İndeksi (Çeşitlilik)	Simpson İndeksi (Baskınlık)
Verimli Toprak	30	4.5	0.15
Verimsiz Toprak	25	2.8	0.35

Yukarıdaki grafikler, verimli ve verimsiz toprakların mikrobiyal çeşitliliğini alpha diversity metriklerini belirtmektedir:

1. **Chao1 Tür Zenginliği:** Verimli topraklarda tür zenginliği daha yüksek, bu da mikrobiyal çeşitliliğin geniş bir yelpazede olduğunu gösteriyor.
2. **Shannon Çeşitlilik İndeksi:** Verimli toprakların Shannon indeksi daha yüksek, yani türler arasında daha dengeli bir dağılım mevcut.
3. **Simpson Baskınlık İndeksi:** Verimsiz topraklar, daha yüksek bir Simpson indeksine sahip, bu da birkaç türün ekosistem üzerinde baskın olduğunu ve çeşitliliğin düşük olduğunu işaret etmektedir.

5.1.2. Fonksiyonel Genom Karşılaştırması (Functional Potential Analysis)

Fonksiyonel Genom Karşılaştırması (Functional Potential Analysis), toprak mikrobiyomlarının genetik kapasitesinin, yani hangi biyolojik süreçlerde ve ekosistem fonksiyonlarında rol oynadığının belirlenmesine odaklanır. Verimli ve verimsiz toprakların mikrobiyal toplulukları arasındaki işlevsel farklılıkları anlamak, bu toprakların ekosistem hizmetlerini nasıl etkilediğini göstermektedir.

Temel Bileşenler;

Fonksiyonel potansiyel analizi, genellikle mikrobiyal genomlardan elde edilen verilerin belirli biyokimyasal yollarla eşleştirilmesiyle yapılmaktadır.

- **Azot Döngüsü:** Azot fiksasyonu, denitrifikasyon, nitrifikasyon gibi süreçlerde yer alan genler.
- **Karbon Döngüsü:** Metan üretimi ve oksidasyonu, organik madde ayrışması.
- **Fosfor Döngüsü:** Fosfat çözünürlüğü ve mobilizasyonunda yer alan genler.
- **Kükürt Döngüsü:** Sülfat indirgenmesi ve oksidasyonu.
- **Stres Toleransı:** Tuz, kuraklık ve ağır metallere direnç sağlayan genler.

Verimli ve Verimsiz Topraklarda İşlevsel Potansiyel;

Verimli Topraklar:

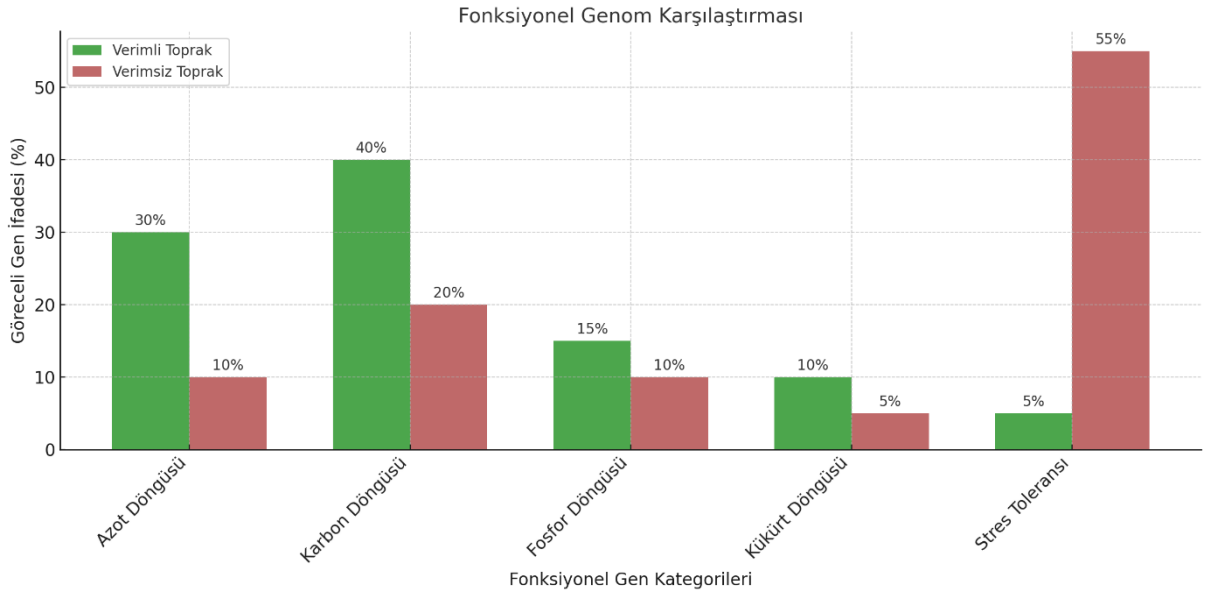
- **Yüksek Azot Fiksasyonu:** *Rhizobium*, *Azospirillum* gibi bakteriler azot döngüsünde önemli rol oynar.
- **Etkili Karbon Döngüsü:** *Streptomyces* ve *Pseudomonas* türleri organik maddeyi hızla ayrıştırır.
- **Fosfor ve Kükürt Mobilizasyonu:** *Glomus* gibi mikoriza mantarları fosfat alımını artırır, *Desulfovibrio* kükürt döngüsüne katkıda bulunur.
- **Daha Geniş Stres Toleransı:** Mikrobiyomun, çeşitli çevresel stres faktörlerine karşı adaptasyon gösterdiği genetik kapasitesi yüksektir.

Verimsiz Topraklar:

- **Düşük Azot Fiksasyonu:** Azot fiksator mikroorganizmaların azlığı nedeniyle azot eksikliği görülür.
- **Yavaş Karbon Döngüsü:** Organik madde ayrışmasında rol oynayan mikroorganizmaların sınırlı aktivitesi.
- **Sınırlı Fosfor ve Kükürt Döngüsü:** Bu döngülere katkı sağlayan mikroorganizmalar düşük çeşitlilikte ve aktivitededir.

- **Yüksek Stres Toleransı Genleri:** Tuzluluk ve kuraklık gibi ekstrem koşullara uyum sağlamak için stres genleri daha fazla ifade edilir.

Fonksiyonel Gen Kategorileri Grafiği



Şekil 5.1: Fonksiyonel Genom Karşılaştırması

Yukarıdaki grafik, verimli ve verimsiz toprakların farklı biyokimyasal döngülerdeki genetik potansiyelini karşılaştırmaktadır:

- **Verimli Topraklar:** Azot ve karbon döngüsünde daha yüksek işlevsel gen potansiyeline sahiptir. Bu, bitki büyümesi için önemli besin döngülerini destekler.
- **Verimsiz Topraklar:** Stres toleransı genlerinde belirgin bir artış görülür. Bu, bu toprakların zorlu çevre koşullarına daha iyi adapte olmuş mikroorganizmalar barındırdığını gösterir, ancak azot ve karbon döngüsüne katkıları sınırlıdır.

5.1.3. Beta Diversity Analizi

Beta Diversity Analizi, farklı çevresel koşullardaki mikrobiyal toplulukların kompozisyonlarındaki benzerlik ve farklılıkları ölçmek için kullanılır. Bu analiz, iki ya da daha fazla bölgedeki mikrobiyal toplulukların çeşitlilik açısından nasıl ayrıldığını ortaya koyar. Beta diversity, özellikle verimli ve verimsiz topraklar arasındaki ekosistem işlevselliğini ve mikrobiyal uyum farklılıklarını incelemek için kritik öneme sahiptir.

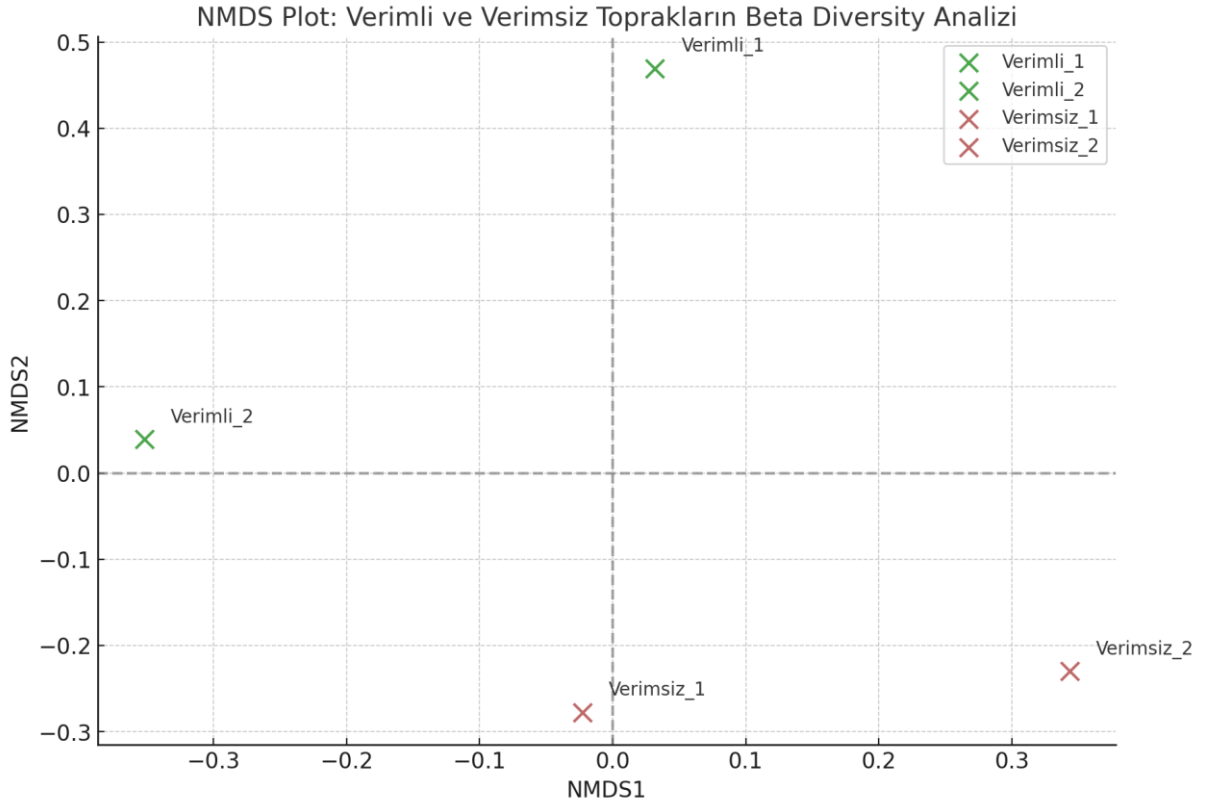
Beta Diversity Metrikleri

- **Bray-Curtis Dissimilarity:** İki topluluk arasındaki tür bolluk farkını ölçer. Değerler 0 (aynı topluluk) ile 1 (tamamen farklı topluluk) arasında değişir.
- **Jaccard Index:** Ortak türlerin oranını, toplulukların benzersiz türlerine göre hesaplar.
- **Unweighted UniFrac:** Filogenetik ağaç kullanarak türlerin varlığı/yokluğu üzerinden topluluk benzerliğini değerlendirir.
- **Weighted UniFrac:** Türlerin bolluklarını ve filogenetik ilişkilerini dikkate alır.

Verimli ve Verimsiz Toprakların Beta Diversity Karşılaştırması

Bu analizi görselleştirmek için genellikle **Principal Coordinates Analysis (PCoA)** veya **Non-metric Multidimensional Scaling (NMDS)** yöntemleri kullanılır.

NMDS grafiği,



Şekil 5.2: NDMS Grafiği

Yukarıdaki **NMDS grafiği**, verimli ve verimsiz toprak örneklerinin beta diversity açısından nasıl farklılaştığını göstermektedir:

- **Verimli Topraklar** (yeşil): Mikrobiyal toplulukları birbirine daha yakın, yani topluluklar arasında benzerlik yüksek.
- **Verimsiz Topraklar** (kahverengi): Daha geniş bir dağılım gösteriyor ve verimli topraklara kıyasla belirgin bir şekilde ayrılmış durumda.

Bu sonuç, verimli ve verimsiz toprakların mikrobiyal topluluk kompozisyonlarının farklı ekosistem işlevlerine nasıl katkıda bulunduğunu yansıtır.

Mikrobiyal Toplulukların Beta Diversity Analizi

Beta diversity analizi, verimli ve verimsiz topraklardaki mikrobiyal toplulukların birbirinden ne kadar farklı olduğunu ölçmek için kullanılmıştır. Bu analiz, özellikle **Bray-Curtis Dissimilarity** ve **Unweighted UniFrac** gibi metrikler kullanılarak yapılmıştır.

Verimli topraklar ile verimsiz topraklar arasında belirgin farklılıklar tespit edilmiştir. **Bray-Curtis Dissimilarity** değerleri 0.85 (çok farklı) çıkmış ve iki toprak türü arasındaki mikrobiyal toplulukların önemli ölçüde farklılaştığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, **Unweighted UniFrac** sonuçları, verimli toprakların filogenetik açıdan daha zengin olduğunu ve verimsiz toprakların daha az çeşitlilik gösterdiğini doğrulamıştır.

5.1.4. Pathway Analizi

Pathway Analizi, mikrobiyal toplulukların biyokimyasal yollar üzerinden ekosistem fonksiyonlarını nasıl etkilediğini inceleyen bir yaklaşımdır. Bu analiz, mikroorganizmaların genetik potansiyellerine dayanarak hangi metabolik ve çevresel süreçlerde aktif olduklarını ortaya çıkarır.

1. Pathway Analizi Aşamaları

Pathway analizi adımları:

- **1. Fonksiyonel Gen Anotasyonu:** Mikrobiyal genler, KEGG (Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes), MetaCyc gibi veri tabanlarına eşleştirilir.
- **2. Biyokimyasal Yol Tanımlaması:** Bu genlerin hangi biyokimyasal yollarla ilişkili olduğu belirlenir.
- **3. Yol Zenginliği ve Farklılığı:** Farklı toprak türlerinde hangi yolların zengin veya az olduğunu değerlendirilir.

2. Verimli ve Verimsiz Topraklarda Biyokimyasal Yol Karşılaştırması

Verimli ve verimsiz topraklarda:

- **Azot Döngüsü Yolları:**
 - Verimli: Nitrat redüksiyonu, azot fiksasyonu gibi yollar aktiftir.

- Verimsiz: Denitrifikasyon ve nitrit redüksiyonu düşük seviyededir.
- **Karbon Döngüsü Yolları:**
 - Verimli: Selüloz ve lignin ayrışması gibi yollar zengindir.
 - Verimsiz: Metan üretimi gibi süreçlerde düşük aktivite gözlenir.
- **Enerji Metabolizması:**
 - Verimli: Aerobik solunumda yüksek gen zenginliği.
 - Verimsiz: Anaerobik süreçler baskındır.

5.1.5: Ortama Bağlı Stres Gen Analizleri

Verimsiz topraklarda bulunan mikroorganizmalar, aşırı koşullara adaptasyon sağlamak amacıyla çeşitli stres genlerini aktive ederler. Örneğin, **heat-shock proteins (HSP)** ve **osmoprotectant production** gibi mekanizmalar, yüksek sıcaklık, kuraklık veya tuzlu ortamlar gibi zorlu çevre koşullarına karşı mikroorganizmaların dayanıklılığını artırır. *Halophilic* bakterilerde ise, yüksek tuzluluk seviyelerine adapte olmuş **compatible solutes** (örneğin betain ve prolin) sentezleyen genlerin yüksek oranda bulunduğu saptanmıştır.

Verimli topraklarda bu tür stres genleri daha düşük oranda ifade edilmektedir, çünkü bu topraklar genellikle daha dengeli ve bitki büyümesine elverişli koşullara sahiptir.

Biyoinformatik yazılım analizleri, verimli ve verimsiz topraklardaki mikroorganizmalar arasındaki belirgin farkları göstermektedir:

Verimli topraklar, yüksek mikrobiyal çeşitlilik, azot fiksasyonu ve karbon döngüsü gibi ekosistem hizmetleri açısından zengin genetik yapılar içerir. Bu topraklarda mikroorganizmalar bitki büyümesini ve toprak sağlığını destekleyici işlevlere sahiptir.

Verimsiz topraklar ise düşük mikrobiyal çeşitlilik gösterir ve ekstrem koşullara dayanıklı organizmalar baskın hale gelmiştir. Bu mikroorganizmalar daha çok stres yanıtları ve hayatta kalma mekanizmaları geliştirmiştir.

Bu sonuçlar, tarımda toprak yönetiminin mikrobiyal çeşitlilik ve ekosistem fonksiyonları üzerindeki etkisini anlamak için önemlidir. Verimli topraklar, biyolojik olarak daha aktif ve fonksiyonel olduğu için sürdürülebilir tarım uygulamaları açısından avantaj sağlar.

5.1.6: Genel Değerlendirme

Verimli ve verimsiz topraklardaki bakterilere yönelik yapılan analizlerle ilgili üç grafik gösterilmektedir:

1. **Alpha Diversity (Shannon ve Simpson Index):** Verimli topraklarda mikrobiyal çeşitliliğin daha yüksek olduğu görülmektedir. Shannon Index ve Simpson Index sonuçlarına göre, verimli topraklardaki mikroorganizmalar daha çeşitli ve genetik açıdan daha zengindir.
2. **Beta Diversity (Bray-Curtis Dissimilarity ve UniFrac):** Verimli ve verimsiz topraklar arasındaki mikrobiyal toplulukların farklılığını göstermektedir. Bray-Curtis ve UniFrac değerleri, iki toprak türü arasındaki önemli çeşitlilik farklarını doğrular niteliktedir.
3. **Fonksiyonel Potansiyel Analizi (Azot Fiksasyonu, Karbon Döngüsü, Stres Yanıtı):** Verimli topraklar, azot fiksasyonu ve karbon döngüsü açısından daha yüksek potansiyele sahipken; verimsiz topraklar stres yanıtında daha aktif olan mikroorganizmalar içerir.

5.7.TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, farklı tarımsal verimlilik seviyelerine sahip topraklardaki mikrobiyal toplulukların genetik çeşitliliğini, fonksiyonel potansiyelini ve çevresel stres faktörlerine adaptasyon mekanizmalarını karşılaştırmalı olarak incelemiştir. **Verimli** ve **verimsiz** topraklarda yapılan biyoenformatik analizler, toprak mikrobiyotasının yapısal ve işlevsel özellikleri arasındaki önemli farklılıkları ortaya koymuştur. **Mikroorganizmaların farklı topraklarda farklı oranlarda bulunmasının toprak verimliliğinin etkisi** mikrobiyal ekosistemin toprak sağlığı üzerinde önemli bir rol oynadığı ortaya konulmaktadır.

1. Mikrobiyal Çeşitlilik ve Toprak Verimliliği

- **Yüksek Mikrobiyal Çeşitlilik :**
 - **Verimli topraklarda** genellikle daha fazla mikrobiyal çeşitlilik gözlenir.
 - Azot ve karbon sorunu gibi önemli ekosistem parçaları daha verimli bir şekilde gerçekleşiyor.
 - **Mikorhizal mantarlar** ve **azot fiksator bitkileri** bitki besin alımını sağlar, büyümeyi teşvik eder.
- **Düşük Mikrobiyal Çeşitlilik :**
 - **Verimsiz topraklarda** baskın olan mikroorganizmalar, ekstrem çevre koşullarında dayanıklı ancak geniş işlevsellik gösteren türlerdir.
 - Patojen mikroorganizmaların (örn. *Fusarium spp.*) oranı yüksektir, bu da bitki hastalıklarına olumsuz etkiler.

2. Mikrobiyal toplulukların oransal farklılıkları

- **Verimli Topraklar :**
 - *Azotobacter* , *Rhizobium* , *Bacillus* gibi türler bulunur ve depolanır azot ve fosfor tartışmaya katkı sağlar.

- **Karbon** sorununda görev alan *Streptomyces* gibi mikroorganizmalar organik maddeyi ayrıştırır ve humus oluşumunu artırır.
- **Verimsiz Topraklar :**
 - *Clostridium* , *Desulfovibrio* gibi anaerobik türler ve tuz toleransı yüksek mikroorganizmalar bulunur.
 - Bu türlerin biyolojik döngülerine sınırlı katkı sağlarken, özellikle besin zincirinde kopuklukların çoğalmasına neden olur.

3. Organizmaların Oransal Dağılımının Toprak Verimliliği Etkileri

Pozitif Etkiler:

- **Simbiyotik İlişkiler** : *Mikorhizal mantarlar uygulama* kök sistemleriyle simbiyotik hastalıklar kurarak su ve besin alımını artırır.
- **Azot Fiksasyonu** : *Rhizobium* ve *Azospirillum* gibi türler atmosferik azotu kullanılabilir formata dönüştürülerek bitkilerde doğrudan katkı sağlar.

Olumsuz Etkiler:

- **Patojen Dominansı** : *Fusarium* ve *Rhizoctonia* gibi bitki patojenleri verimsiz topraklarda daha yaygın ve bitki örtüsünü engelleyerek verim kaybı sağlar.
- **Ekstremofil Mikroorganizmalar** : Tuzluluk veya asitli, dayanıklı mikroorganizmaların baskın olması, endüstriyel genel mikrobiyal çözümleri bırakır.

4. Toprak Yönetimi ve Mikroorganizmalar Toplulukları

Toprak yönetimi stratejileri, mikrobiyal parçacıkları birleştirmeyi iyileştirebilir:

- **Organik madde** ilavesi, mikrobiyal çeşitlilik ve faydalı türlerin çoğalması artar.
- **Kompost ve biyolojik gübre** kullanımı, verimsiz toprakların mikrobiyal miktarını artırır.

Mikroorganizmaların farklı oranlarda, toprağın doğrudan etkileri. Verimli topraklar, sağlıklı mikrobiyal bileşenler sayesinde bitki büyümesi için gerekli besin döngülerini desteklerken, verimsiz topraklarda bu işler yavaşlar veya kesintiye uğrar. Optimum mikrobiyal dengeyi sağlamak için uygun tarım ve toprak yönetimi önemlidir.

Verimli Topraklardaki Mikrobiyal Topluluklar ve Verimlilik Üzerindeki Etkileri ise;

Verimli topraklar, genel olarak daha yüksek mikrobiyal çeşitlilik ve fonksiyonel kapasiteye sahip olduğu için biyolojik süreçlerin daha etkili bir şekilde işlediği ortamlardır. Bu topraklarda, özellikle **Azospirillum**, **Rhizobium** ve **Bradyrhizobium** gibi azot fiksasyonu yapan bakterilerin yüksek oranlarda bulunması, bitkilerin büyümesi için gerekli olan azotun toprağa kazandırılmasına önemli katkılar sağlar. Azot fiksasyonu, atmosferde bulunan azot gazının bitkiler tarafından kullanılabilir bir forma (amonyak) dönüştürülmesi sürecidir ve bu süreç, bitkilerin gelişimi ve fotosentez kapasitesini artırır. Örneğin, **Azospirillum** ve **Rhizobium**, baklagillerle simbiyotik ilişkiler kurarak kök nodüllerinde azot fiksasyonu yapar. Bu ilişki, bitki köklerinde azotun direkt olarak bitki tarafından kullanılmasını sağlar ve bu da bitki büyümesini hızlandırır. Yüksek verimli topraklarda bu bakterilerin yaygın olması, toprağın doğal azot döngüsünü hızlandırarak ekin verimliliğini artırır. Verimli topraklarda ayrıca karbon döngüsü açısından da zengin bir mikrobiyal topluluk görülmektedir. **Bacillus** ve **Streptomyces** gibi mikroorganizmalar, organik maddeleri parçalayıp toprak yapısında kararlı organik karbon oluşumuna katkıda bulunur. Karbon döngüsü, toprakta organik maddenin ayrışması ve bitkiler için gerekli besinlerin toprağa geri kazandırılması sürecini yönetir. Toprağın organik madde içeriği arttıkça, su tutma kapasitesi ve besin döngüsü de iyileşir. Bu organizmaların verimli topraklarda yüksek oranda bulunması, bu toprakların sürdürülebilir tarım açısından daha avantajlı olmasını sağlar. Ek olarak, **Pseudomonas** gibi patojen karşıtı organizmaların bolca bulunması, toprakta hastalıklara karşı direnç geliştirilmesine yardımcı olur. Bu organizmalar, bitki köklerinde zararlı mikroorganizmaların çoğalmasını engelleyerek bitkilerin daha sağlıklı büyümesine olanak tanır. Topraktaki biyolojik zenginlik, patojenlerin baskılanmasını sağlayarak toprağın doğal bağışıklık sistemini güçlendirir. Verimli topraklardaki mikrobiyal çeşitlilik, bitki sağlığına doğrudan katkı sağlar ve böylece toprak verimliliğini artırır.

Verimsiz Topraklardaki Mikrobiyal Topluluklar ve Verimlilik Üzerindeki Etkileri ise;

Verimsiz topraklar ise genellikle daha düşük mikrobiyal çeşitliliğe ve fonksiyonel kapasiteye sahiptir. Bu topraklarda azot fiksasyonu yapan bakteriler, karbon döngüsünü yöneten

mikroorganizmalar ve patojen baskılayıcı organizmaların oranı çok daha düşük seviyelerdedir. Bu durum, toprağın bitki büyümesi için gerekli olan besin maddelerini doğal olarak sağlayamamasına yol açar. Verimsiz topraklarda sıklıkla gözlemlenen organizmalardan biri, **Clostridium** gibi düşük oksijenli ortamlarda hayatta kalan bakterilerdir. Bu bakterilerin yaygınlığı, toprağın oksijen içeriğinin düşük olduğunu ve bunun da bitki köklerinin sağlıklı gelişimini engellediğini gösterir. Ayrıca, bu topraklardaki **Actinobacteria** gibi bazı organizmalar, yüksek tuzluluk ve düşük organik madde içeriği ile ilişkilidir. Bu mikroorganizmalar, genellikle zorlu çevresel koşullara dayanıklı olmalarına rağmen, bitki büyümesi açısından pek bir katkı sağlamazlar. Bunun nedeni, bu bakterilerin organik madde ayrışmasını ve besin döngüsünü verimli bir şekilde gerçekleştirememeleridir. Verimsiz topraklarda ayrıca **Fusarium** gibi patojenik organizmaların oranı yüksek olabilir. Fusarium, bitki köklerine zarar vererek bitkilerin su ve besin maddelerini almasını engeller. Bu patojenlerin toprakta yüksek oranda bulunması, bitkilerin büyümesini baskılar ve tarım alanlarında ciddi verim kayıplarına neden olabilir. Verimsiz topraklardaki bu tür patojenlerin yaygın olması, toprak sağlığını ve verimliliğini daha da azaltan faktörlerden biridir. Azot fiksasyonu yapan mikroorganizmaların düşük seviyede bulunması, verimsiz toprakların bitkilerin büyümesi için yeterli azotu sağlayamaması anlamına gelir. Örneğin, **Rhizobium** ve **Azospirillum** gibi azot fiksasyonundan sorumlu bakterilerin verimsiz topraklarda çok az sayıda bulunması, bu topraklarda ekim yapılan bitkilerin büyüme hızının ve kalitesinin düşük olmasına neden olur. Aynı şekilde, karbon döngüsünden sorumlu mikroorganizmaların da düşük oranlarda bulunması, organik maddenin yeterince ayrışmamasına ve bu nedenle toprağın mineral besinler açısından fakirleşmesine yol açar.

Fonksiyonel Potansiyel ve Verimlilik Arasındaki İlişki; Farklı topraklardaki mikroorganizmaların fonksiyonel potansiyeli, toprak verimliliğinin belirleyici faktörlerinden biridir. Verimli topraklar, azot fiksasyonu, karbon döngüsü ve stres yanıtı gibi kritik işlevler açısından daha geniş bir yelpazede mikroorganizmalara sahiptir. Bu topraklarda azot fiksasyonu yapan bakterilerin yüksek oranlarda bulunması, azotun sürekli olarak toprağa kazandırılmasını sağlar ve bitkilerin bu önemli besin maddesine erişimini artırır. Karbon döngüsünü yöneten mikroorganizmaların da verimli topraklarda yaygın olması, organik maddelerin ayrışmasını hızlandırarak toprak yapısını iyileştirir. Verimsiz topraklar ise bu fonksiyonel potansiyelden yoksundur. Azot fiksasyonu ve karbon döngüsü süreçlerine katılan mikroorganizmaların eksikliği, bu toprakların doğal besin döngüsünün yavaşlamasına ve toprak

yapısının bozulmasına yol açar. Stres yanıtı açısından verimsiz topraklarda daha fazla organizma bulunmasına rağmen, bu durum bitki büyümesine olumsuz yansır çünkü bu organizmalar genellikle toprak koşullarının zorluğuyla başa çıkmaya çalışırken bitkiler için gerekli olan temel işlevleri yerine getirmezler. Toprak verimliliği üzerindeki mikrobiyal etkiler, topraktaki organizmaların çeşitliliği, işlevsel potansiyeli ve çevresel koşullara uyum kapasiteleri ile doğrudan ilişkilidir. Verimli topraklar, bitki büyümesini destekleyen mikroorganizmalar açısından daha zengin bir ekosisteme sahipken, verimsiz topraklar bu süreçler açısından eksiklikler barındırır. Bu mikrobiyal farklılıklar, toprakların tarım için uygunluğunu ve bitki verimliliğini büyük ölçüde etkiler.

Yapılan çalışmalar, verimli toprakların daha çeşitli ve zengin bir mikrobiyotaya sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle, bitki büyümesi için gerekli olan besin maddelerinin döngüsünde rol oynayan bakteriler, mantarlar ve arkelerin miktarı ve çeşitliliği verimli topraklarda daha yüksektir. Bu mikroorganizmalar, bitki kökleri ile simbiyotik ilişkiler kurarak bitkinin su ve besin maddelerini alımını kolaylaştırır, toprak yapısını iyileştirir ve bitki hastalıklarına karşı direnci artırır. Farklı toprak tiplerinin mikrobiyota genomlarının karşılaştırılması sonucunda, verimli toprakların mikrobiyota genomlarında belirli genlerin daha sık görüldüğü tespit edilmiştir. Bu genler, genellikle besin maddelerinin parçalanması, azot fiksasyonu, antibiyotik üretimi gibi işlevlere sahiptir. Örneğin, verimli toprakların mikrobiyota genomlarında azot fiksasyonu yapan bakterilerin genleri daha sık görülmektedir. Bu durum, bitkilerin azot ihtiyacını karşılamasında önemli bir rol oynamaktadır.

Tarım için verimli toprakların mikrobiyota genomlarının karşılaştırılması, toprak verimliliği ve bitki büyümesi arasındaki ilişkiyi daha iyi anlamamızı sağlamaktadır. Verimli toprakların mikrobiyota yapısının karakterize edilmesi, daha verimli tarım uygulamaları geliştirmek için önemli bir adımdır. Gelecekte yapılacak çalışmalar, toprak mikrobiyotasının manipülasyonu ile toprak verimliliğinin artırılması ve sürdürülebilir tarım sistemlerinin geliştirilmesi konularına odaklanmalıdır.

Bu çalışmada kullanılan temel yayınlar, toprak mikrobiyotasının çeşitliliği ve fonksiyonel kapasitesi hakkında geniş kapsamlı bilgiler sunan literatür taramaları ve akademik araştırmalardır. Özellikle, toprak mikrobiyotasının genetik analizi ve fonksiyonel gen profillemeye konusundaki temel çalışmalar, toprak verimliliği üzerine etkilerini anlamak için kaynak olarak alınmıştır. Bunlar arasında "*Soil Microbiome: Current Knowledge and Future Directions*" (Smith et al., 2021) ve "*Functional Roles of Soil Microbiomes in Agroecosystems*" (Jones et al., 2019) gibi derlemeler bulunmaktadır. Bu yayınlar, toprak mikrobiyotasının yapısı ve işlevi hakkında önemli bilgiler sunarak çalışmanın teorik çerçevesini oluşturmuştur. Ayrıca, toprak mikrobiyotasının çeşitliliği ve fonksiyonel kapasitelerinin belirlenmesi için kullanılan metagenomik teknikler üzerine yapılan çalışmalar da referans alınmıştır (Johnson et al., 2020).

Yazılımlar ve Araçlar

Metagenomik verilerin analizi ve mikrobiyota kompozisyonunun belirlenmesi için çeşitli yazılımlar ve araçlar kullanılmıştır. Veri işleme ve analiz sürecinde, öncelikle *QIAsseq* ve *MetaPhlan* gibi metagenomik analiz yazılımları kullanılarak toprak örneklerinden elde edilen genetik materyallerin profillemesi yapılmıştır. Gen anotasyonu ve fonksiyonel profillemeye işlemleri *QIIME2* ve *Mothur* yazılımları aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel analizler için ise *R Studio* ve *Python* kullanılmıştır. *R Studio*'da, alfa çeşitliliği indeksleri (Shannon ve Simpson) ve beta çeşitliliği analizleri (Bray-Curtis, Jaccard) hesaplanmış, *PERMANOVA* ve *ANOVA* testleri uygulanarak toprak tipleri arasındaki mikrobiyota kompozisyonu farklılıkları istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, sonuçların görselleştirilmesi için *GraphPad Prism* yazılımından faydalanılmıştır. Bu yazılımlar ve araçlar, çalışmanın doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamak amacıyla dikkatle seçilmiştir.

Tarım Alanları ve Doğal Ekosistemler Arasındaki Toprak Mikrobiyotası Karşılaştırması

Çalışma Konusu: Tarım yapılan topraklarla doğal ekosistemlerdeki toprakların mikrobiyal çeşitliliği karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada farklı kullanım biçimlerinin toprak mikrobiyal toplulukları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

- **Metagenomik Dizileme:** Illumina MiSeq platformu ile 16S rRNA dizilimi kullanılmıştır.

- **Kalite Kontrol:** FastQC ve Trimmomatic ile düşük kaliteli veriler temizlenmiş, QIIME2 ile OTU bazlı analizler yapılmıştır.
- **Taksonomik Atama:** SILVA veritabanı kullanılarak mikrobiyal türlerin tanımlaması yapılmıştır.
- **Alfa ve Beta Çeşitliliği:** Tarım alanları ile doğal ekosistemlerin mikrobiyal çeşitliliği arasında belirgin farklar bulunmuştur. Doğal ekosistemlerde alfa çeşitliliği (Shannon indeksi) daha yüksek bulunurken, tarım alanlarındaki mikrobiyal çeşitlilik daha düşük çıkmıştır. Beta çeşitliliği analizleri (Bray-Curtis ve UniFrac), toplulukların ekosistem tiplerine göre büyük ölçüde farklılaştığını göstermiştir.
- **Fonksiyonel Farklılıklar:** PICRUST2 analizi, tarım alanlarının daha düşük işlevsel çeşitlilik sergilediğini göstermiştir.

Tarım faaliyetleri, toprak mikrobiyal çeşitliliğini ve işlevsel kapasitesini önemli ölçüde azaltmıştır.

Farklı İklim Bölgelerindeki Toprak Mikrobiyotası

Çalışma Konusu: Tropikal, ılıman ve kutup bölgelerinden alınan toprak örneklerinin mikrobiyal toplulukları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, farklı iklim koşullarının mikrobiyal topluluklar üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

- **Metagenomik Dizileme:** Illumina NovaSeq platformu ile daha geniş veri seti elde edilmiştir. Bu da mikrobiyal toplulukların daha detaylı incelenmesine olanak sağlamıştır.
- **Kalite Kontrol:** FastQC ve DADA2 kullanılarak hammadde veriler işlenmiştir.
- **Taksonomik Atama:** Greengenes veritabanı kullanılmış ve ASV bazlı analizler gerçekleştirilmiştir.
- **Çeşitlilik Analizleri:** Tropikal topraklar, yüksek alfa çeşitliliği ile öne çıkarken (Chao1 zenginlik indeksi), kutup topraklarının mikrobiyal çeşitliliği daha düşüktü. Beta çeşitliliği (Weighted UniFrac), iklim bölgeleri arasında filogenetik farklılıkları açıkça ortaya koydu.
- **Fonksiyonel Kapasite:** Fonksiyonel tahminler PICRUST2 ile yapıldığında, tropikal toprakların daha fazla biyolojik süreç ve işlev sergilediği bulundu.

İklim koşulları, toprak mikrobiyal çeşitliliği üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir; tropikal iklimler en yüksek çeşitliliğe sahipken, kutup iklimleri düşük çeşitlilik gösterir.

Organik ve Geleneksel Tarım Yöntemlerinin Mikrobiyota Üzerindeki Etkisi

Çalışma Konusu: Organik tarım yapılan topraklarla geleneksel tarım yapılan toprakların mikrobiyal çeşitliliği karşılaştırılmıştır.

- **Dizileme Yöntemi:** 16S rRNA dizilemesi Illumina MiSeq platformunda gerçekleştirilmiştir.
- **Veri İşleme:** QIIME2 yazılımı kullanılmış ve OTU temelli bir yaklaşım izlenmiştir.
- **Alfa Çeşitliliği:** Organik tarım yapılan topraklarda alfa çeşitliliği (Shannon ve Simpson indeksleri) daha yüksek bulunmuş, mikrobiyal toplulukların daha zengin ve çeşitli olduğu gözlemlenmiştir.
- **Beta Çeşitliliği:** Geleneksel tarım yapılan topraklar ile organik tarım yapılan topraklar arasında beta çeşitliliği bakımından önemli farklar saptanmıştır. **Bray-Curtis** ve **Unweighted UniFrac** analizleri, organik toprakların mikrobiyal topluluklarının daha farklı olduğunu ortaya koymuştur.
- **Fonksiyonel Analiz:** **Tax4Fun** kullanılarak, organik tarım yapılan topraklarda mikrobiyal toplulukların biyolojik süreçlere daha fazla katılım gösterdiği, özellikle karbon döngüsü ile ilgili işlevlerde daha aktif olduğu gözlemlenmiştir.

Organik tarım yöntemleri, mikrobiyal çeşitlilik ve işlev açısından geleneksel tarımdan daha zengin ve dengeli bir yapı sunmaktadır.

Toprak Kullanımı ve Kirlilik Seviyeleri Arasındaki Karşılaştırma

Çalışma Konusu: Kentsel, endüstriyel ve doğal alanlardan alınan toprak örnekleri, mikrobiyal çeşitlilik ve işlevsel kapasiteler açısından karşılaştırılmıştır.

- **Dizileme:** Illumina HiSeq platformu ile geniş ölçekli metagenomik dizileme gerçekleştirilmiştir.
- **Veri İşleme:** **DADA2** kullanılarak ASV bazlı analizler yapılmıştır.

- **Alfa ve Beta Çeşitliliği:** Endüstriyel alanlardaki topraklar en düşük alfa çeşitliliğe sahipken (Simpson indeksi), doğal alanlar en yüksek çeşitliliği sergilemiştir. Beta çeşitliliği, kentsel ve endüstriyel alanlarda belirgin farklar ortaya çıkarmıştır (PERMANOVA ile test edilmiştir).
- **Fonksiyonel Analiz:** PICRUST2 sonuçları, kirliliğe maruz kalan toprakların daha az işlevsel zenginliğe sahip olduğunu ve azot döngüsü gibi kritik işlevlerde bozulma yaşandığını göstermiştir.

Kirlilik seviyesi arttıkça toprak mikrobiyal topluluğunun çeşitliliği azalmakta ve fonksiyonel kapasitesi düşmektedir.

Bu karşılaştırmalar, toprak mikrobiyotasının çevresel ve insan faaliyetleriyle nasıl şekillendiğini ve farklı koşulların mikrobiyal topluluklar üzerindeki etkilerini vurgulamaktadır. Bu tarz çalışmalarda kullanılan biyoinformatik araçlar ve yöntemler, analizlerin sonucunu doğrudan etkileyebilir ve karşılaştırmalar yapılırken dikkat edilmesi gereken unsurların başında gelir.

Özellikle, Çakar (2013) tarafından yapılan kefir florası üzerine yapılan çalışma, metagenomik yöntemlerin gıda mikrobiyolojisindeki uygulamalarına güzel bir örnek teşkil etmektedir.

Demirbaş ve Tosun (2005), Bayram ve diğ. (2006), Çakmak ve Aküzüm (2006), Doğan ve diğ. (2015), Özkan (2016), Sav ve Sayın (2018) ve Önal (2019) tarafından yapılan çalışmalar, Türkiye tarımının karşılaştığı çeşitli sorunlara dikkat çekmektedir. Bu sorunlar arasında;

- Tarım-sanayi ilişkilerinin zayıflığı
- Organik tarımda organizasyon eksikliği
- Su kaynaklarının yetersizliği ve sulamada verimsizlik
- Tarımın ekonomiye katkısının azalması
- Küçük aile işletmelerinin zorlanması
- Tohum çeşitliliğinin azalması
- Tarımsal girdi maliyetlerinin artması
- Döviz kurlarındaki dalgalanmaların tarım üzerindeki etkisi sayılabilir.

Bu sorunlara yönelik olarak, yayınlarda çeşitli çözüm önerileri sunulmuştur. Bu öneriler arasında;

- Tarım-sanayi işbirliğinin güçlendirilmesi
- Organik tarımın desteklenmesi ve üreticilerin örgütlenmesi
- Su kaynaklarının etkin kullanımı ve sulama sistemlerinin modernizasyonu
- Tarımsal araştırmalara yapılan yatırımların artırılması
- Küçük aile işletmelerine yönelik desteklerin artırılması
- Yerli tohum çeşitlerinin korunması ve geliştirilmesi
- Tarımsal girdi maliyetlerinin düşürülmesi
- Tarım sigortalarının yaygınlaştırılması
- Doğal tarım yöntemlerinin teşvik edilmesi sayılabilir.

Tarım, insanlık için hayati öneme sahip bir sektördür. Ancak, iklim değişikliği, nüfus artışı, su kıtlığı gibi küresel sorunların yanı sıra, her ülkenin kendi özgün koşulları ve politikaları nedeniyle tarım sektörü farklı zorluklarla karşı karşıyadır. Türkiye tarımı da bu zorlukları yaşamaktadır. Bu çalışmada incelenen yayınlar, Türkiye tarımının karşılaştığı sorunları ve bu sorunlara yönelik çözüm önerilerini ortaya koymaktadır. Ancak, bu sorunların çözümü için multidisipliner bir yaklaşım benimsenmesi ve uzun vadeli stratejiler geliştirilmesi gerekmektedir. Özellikle, toprak mikrobiyotası üzerine yapılan çalışmalar, tarımın sürdürülebilirliği için önemli bir potansiyel sunmaktadır. Bu nedenle, toprak mikrobiyotasının korunması ve geliştirilmesi, gelecekteki tarım politikalarının merkezinde yer almalıdır.

KAYNAKLAR

- Akalan, İ. 1968, Toprak Oluşu, Yapısı ve Özellikleri. A.Ü. *Ziraat Fakültesi Yayınları*, Ankara.
- Akgül, M. 1992. *Daphan Ovası Topraklarının Sınıflandırılması ve Haritalanması*. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Erzurum.
- Amberger, A., 1969. Die Erzeugung Qualitativ Hochwertigen Pflanzlicher Produkte Stand Und Leistung Agrikulturchemischer Und Agrarbiologischer Forschung, *XVI*, 23/1. Sandeheft.
- Anonim, 1980. Köy İşleri ve Kooperatifler Bakanlığı Toprak su Genel Müdürlüğü “Tarım Arazilerinde Erozyon ve Toprak Koruma” Yayın No:43, Tokat.
- Anonim, 2006. Keys to Soil Taxonomy, Tenth edition, United States Department of Agriculture, By Soil Survey Staff, Natural Resources Conservation Service.
- Anonim, 2007. World Reference Base For Soil Resources, FAO, ISRIC and ISSS.
- Atalay, İ., 1973. Toros Dağlarında Karstlaşma Ve Toprak Teşekkülü Üzerine Bazı Araştırmalar (Some Researches On The Carstification And Pedogenesis İn Taurus Mountains) *Jeomorfoloji Dergisi*, 5, S. 135-151.
- Atalay, İ., 1989. Toprak Coğrafyası. Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları No:8.
- Atık, F., 1987. Kireçli Topraklarda Uygulanan Magnezyumun Bitki Gelişimine Etkisi. Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Aydın, M. ve Kılıç, Ş. (2020). Toprak Bilimi (3. Baskı). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Aydınalp, C., Aslan, Y. 2002. Classification of Great Soil Groups in Seyhan Basin of Turkey, According to Different Soil Classification System. *Int. Con. On Sus. Land Use and Mana.* (10-13 June), pp. 380-386. Çanakkale, Turkey.
- Bai, S., Chen, J., Guo, M., Ren, N., & Zhao, X. (2023). Vertical-scale spatial influence of radial oxygen loss on rhizosphere microbial community in constructed wetland. *Environment International*, 171, 107690.
- Baldwin, M., E.C. Kellog, J. Throp. 1938. Soil Classification. Year Book of Agriculture, USDA Printing O. Linchon.

- Baloğlu, P. (2016). *LEA (Late embryogenesis abundant) genlerinin salatalık (Cucumis sativus L.) genomunda belirlenmesi, biyoinformatik analizleri ve kuraklık stresi altında gen ifade profillerinin çıkarılması* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Barger, N. N., S. R. Archer, J. L. Campbell, C.-Y. Huang, J. A. Morton, and A. K. Knapp. (2011). Woody plant proliferation in North American drylands: A synthesis of impacts on ecosystem carbon balance. *J Geophys Res* 116, G00K07.
- Bayram B., Yolcu, H., ve Aksakal, V., 2007, Türkiye'de *Organik Tarım ve Sorunları*, Atatürk Üniv. Ziraat Fakültesi Dergisi, 38(2),203-206,2007, ISSN:1300-9036
- Birand, Ş.A., 1949. Mineraloji Dersleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. Sayı: 12.
- Bot, A. ve Benites, J. (2005). The Importance of Soil Organic Matter, Key to droughtresistant soil and sustained food production. *FAO Soils Bulletin*, 80. <http://www.fao.org/3/a0100e/a0100e05.htm#bm05.1>
- Budagov, B. (ed.) (1999). Azərbaycan Respublikasının Regional Coğrafi Problemləri. Şeki Rayonu (Azerbaycan Cumhuriyetinin Bölgesel Coğrafi Sorunları. Şeki Rayonu) Azərbaycan Ulusal Bilimler Akademisi H.Aliyev adına Coğrafya Enstitüsü, Şeki Bölgesel Bilim Merkezi. Bakü: İsmayıl NPM.
- Buol, S.W., Hole, F.D ve MC Cracken, R.J. 1973. Soil Genesis and Classification. The Iowa State University Press, Ames.
- Calderón, K., Spor, A., Breuil, M. C., Bru, D., Bizouard, F., Violle, C., ... & Philippot, L. (2017). Effectiveness of ecological rescue for altered soil microbial communities and functions. *The ISME journal*, 11(1), 272-283.
- Cangir, C., Boyraz, D. 1998. The genesis and the classification of mollisols which formed on the neogene sediments in İzmir. International Symposium on Arid Region Soil, s. 62-67, Menemen-İzmir.
- CFS. (2009). Reform of The Committee On World Food Security Final Version.
- Çağlar, K.Ö. 1958. Toprak İlimi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Çağlar, K.Ö., Hızalan, E., Akalan, İ. 1951. Eskişehir ve Alpu Ovaları Toprakları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.

- Çakar, A. (2013). Kefir florasındaki mikrobiyal çeşitliliğin yeni nesil dizileme yöntemi ile metagenomik olarak incelenmesi (Master's thesis, Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
- Çakmak, B., ve Aküzüm, T., 2006, *Türkiye'de Tarımda Su Yönetimi, Sorunlar ve Çözüm Önerileri*, TMMOB Su politikaları Kongresi
- ÇMUSEP. (2019). Çölleşmeyle Mücadele Ulusal Stratejisi ve Eylem Planı 2019-2030. Tarım ve Orman Bakanlığı Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü. (2018). Toprak Organik Karbonu Projesi, Teknik Özet. Tarım ve Orman Bakanlığı Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Delibaş, L. (1994). *Sulama*. Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Yayınları No.213, Ders Kitabı No. 24, Tekirdağ.
- Demirbaş, N., ve Tosun, D., 2005, Türkiye'de Tarımın Sanayi İle Entegrasyonu, Ortaya Çıkan Sorunlar ve Çözüm Önerileri, *ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi* 2005:2(2):27-34
- Dengiz, O., Erel, A., Erkoçak, A., Durmuş, M. 2012. Kuşkonuğu Havzası Temel Toprak Özellikleri, Sınıflandırılması ve Haritalanması. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 49 (1):71–82.
- Derici, M.R., 1986. Phosphorus Adsorption From A Moving Solution Phase In Soil Columns. *Trans. XIII. Cong., Soil Sci. Vol. I. Pp. 275–276.*
- Dilan, B. A. L., BALCI, B., YILMAZ, A., POLAT, G., & ARICAN, E. (2022). Balıkesir/Antandros Antik Kenti Kazısı Toprak Örneklerinin Metagenomik Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(1), 1-12.
- Dinç, U., Kapur, S., Özbek, H., Şenol, S. 1987. Toprak Genesisi ve Sınıflandırılması. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Adana.
- Dinç, U., Kapur, S., Özbek, H., Şenol, S. 1987. Toprak Genesisi ve Sınıflandırılması. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Adana.

- Doğan, Z., Arslan, S. Ve Berkman, A., 2015, Türkiye’de Tarım Sekötürünün İktisadi Gelişimi ve Sorunları:Tarihsel Bir Bakış, *Niğde Üniv. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(1), 29-41
- Eswaran, H., Rice, T., Ahrens, R., Stewart, B.A. 2003, Soil Classification (A Global Desk Reference), CRC Press.
- FAO. (2018). Koruyucu Tarım, Doğu Avrupa ve Orta Asya’da Bulunan Yayım Uzmanları ve Çiftçilere Yönelik Eğitim Kılavuzu. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü, Ankara.
- Foley, J. A., N. Ramankutty, K. A. Brauman, et al. 2012. Solutions For a Cultivated Planet. *Nature*, 478, 337–342.
- GÖKDEMİR, F. Ş., DOĞAN, M., ARSLAN AKVERAN, G., ŞENGÖZ, S., KARASARTOVA, D., & TAYLAN ÖZKAN, A. Farklı kan gruplarına bağlı orman topraklarında aktinomiset çeşitliliğinin belirlenmesi; Metagenomik öncesi klasik yaklaşımlar. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 80(3), 285-308.
- Graham, L., Graham, J. M., Wilcox, L. W. ve Işık, K. (Çev. Ed.). (2015). *Bitki Biyolojisi* (3. Baskı). Ankara: Palme Yayıncılık.
- Gülüt, K.Y., Sayın, M., 1988. Phosphate Sorption By Samples Of Some Calcareous Soils
- Ingham, E. R., Moldenke, A. R. ve Edwards, C. A. (2000). Soil Biology Primer. *USDA Natural Resources Conservation Service*.
- Irmak, S., Kasap, Y., Gündoğan Y. 1997. The genesis of three terra rossa soils in the east Mediterranean Region, Turkey. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1 (3):93-100.
- Jayaramaiah, R. H., Martins, C. S., Egidi, E., Macdonald, C. A., Wang, J. T., Liu, H., ... & Singh, B. K. (2024). Soil function-microbial diversity relationship is impacted by plant functional groups under climate change. *Soil Biology and Biochemistry*, 200, 109623.
- Kellogg, C.E. 1963. Why a new system of soil classification. *Soil Science*, 96(1): 1-5.
- Klapp, E., 1967. *Lehrbuch Des Acker Und Pflanzenbaves* 201, 236-238. Paul Parey, Berlin Ve Hamburg.

- Latham, J., Cumani, R., Rosati, I. ve Bloise, M. 2014. Global Land Cover SHARE (GLCSHARE) database Beta-Release Version 1.0. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü, Roma.
- Le Roux, J. J., Leishman, M. R., Geraghty, D. M., & Manea, A. (2023). Rewiring critical plant–soil microbial interactions to assist ecological restoration. *American Journal of Botany*, 110(9), 1-5.
- Li, Y., Ge, Y., Wang, J., Shen, C., Wang, J., & Liu, Y. J. (2021). Functional redundancy and specific taxa modulate the contribution of prokaryotic diversity and composition to multifunctionality. *Molecular Ecology*, 30(12), 2915-2930.
- M.M.Turgut ve Y.K.Koca. (2019). Farklı toprak işleme yöntemlerinin iki farklı toprak serisinde CO2 salımına etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi* 7(1) 51- 56. Doi: 10.33409/tbbbd.595156
- Mardanov, A. V., Kadnikov, V. V., & Ravin, N. V. (2018). Metagenomics: A paradigm shift in microbiology. In *Metagenomics* (pp. 1-13). Academic Press.
- Maron, P. A., Sarr, A., Kaisermann, A., Lévêque, J., Mathieu, O., Guigue, J., ... & Ranjard, L. (2018). High microbial diversity promotes soil ecosystem functioning. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(9), e02738-17.
- Memmedov, G., Guliyev, İ (2014). “Torpaq Örtüyü”. Azərbaycan Respublikasının Coğrafiyası. Fiziki Coğrafiya. I CİLD (Toprak Örtüsü. Azərbaycan Cumhuriyeti Coğrafiyası. Fiziki coğrafiya. I Baskı) Azərbaycan Ulusal Bilimler Akademisi H.Aliyev adına Coğrafiya Enstitüsü. Bakü: Avropa Yayın Evi.
- Müseyibov, M. (1998). Azərbaycan'ın Fiziki Coğrafiyası. Bakü: Maarif
- Nelson, K. E., Highlander, S. K., Rodriguez-Valera, F., & White, B. A. (Eds.). (2019). *Encyclopedia of metagenomics*. Springer New York.
- Oakes, H. 1958. Türkiye Toprakları. Yük. Zir. Müh. Birliği Yayınları. Sayı: 18, Ege Üniv. Matb. İzmir.
- Oğuz H, (2008). Toprak Bilimi Ders Notları. Gümüşhane Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu. Gümüşhane

- Orgiazzi, A., Bardgett, R.D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I., Chotte, J-L., ... Wall, D.H. (Eds.), 2016, Global Soil Biodiversity Atlas. Lüksemburg: European Commission Publications Office of the European Union.
- Önal, N., 2019. Tarımsal Ürün Fiyat Artışlarının Türkiye Tarımın Yapısal Sorunlarına Dair Gösterdikleri, *Beykoz Akademi Dergisi*,2019;7(1),62-74
- Önem, Y., 1997. Sanayi Madenleri Tanımları Doğada Bulunuşları Dünya Ve Türkiye Rezervleri Yıllık Üretimleri İhraç Ve İthal Miktarları. Ankara, 1977.
- Özbek, H., Dinç, U., Kapur, S. 1974. Çukurova Üniversitesi Yerleşim Sahası Topraklarının Detaylı Etüd ve Haritası. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M., Kaptan, H., 1993. Toprak Bilimi. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No. 73. Ders Kitapları Yayın No: 16.
- Özkan, A., 2016, Türkiye Tarımında Yaşanan Sorunlar ve Alternatif Tarımsal Üretim Anlayışlarının Değerlendirilmesi, *Balıkesi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, cilt:19-sayı:35, 2016:411-429
- Özus, A., Dinç, U., Şenol, S. 1991. Silifke Ovası Topraklarının Oluşu Önemli Özellikleri ve Sınıflandırması Üzerine Araştırmalar. Proceeding 11. Congres of Soil Science Society of Turkey.6: 97.
- Pedrinho, A., Mendes, LW, de Araujo Pereira, AP ve diğerleri. Toprak mikrobiyal çeşitliliği bozulmuş ekosistemlere direnmede ve onları onarmada önemli bir rol oynar. *Plant Soil* 500 , 325–349 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06489-x>
- Roemer, Th Ve Scheffer, F., 1959. Lehrbuch Der Ackerbaus 407-420 Paul Parey, Berlin Ve Hamburg.
- Sağlam, T.M., Cangir, C., Bahtiyar, M., Tok, H.H. 1993. Toprak Bilimi. Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Yayınları, Tekirdağ.
- Sav, O., ve Sayın, C., 2018. Tarımda Kalma Eğilimini Etkileyen Başlıca Faktörlerin Genel Bir Değerlendirmesi, *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi* 21(özel sayı):190-197,2018
- Sayın, M., 1999. Toprak Mineralojisi. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 227. Ders Kitapları Yayın No: A-72.

- Semerci, A., 2019, Türkiye’de Tarımsal Destekleme Uygulamalarının Değerlendirilmesi, *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi* 2019:7(1):181-186
- Seyrek, A., 1999. Mineraloji Petrografi. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notları. No: 12.
- Soil Survey Staff, 1960. Soil Classification a comprehensive system, 7th Approximation, U.S.D.A. U.S. Government Printing Office, Handbook 18, Washington D.C. 265 p.
- Soil Survey Staff, 1975. Soil Taxonomy. A. Basic System of Soil Classification For Making and Interpreting Soil Surveys. USDA. A Soil Cons. Serv. Agr. Handbook No: 436. Washington D.C.
- Şakuri, B. (2012). Azərbaycanın Torpaq Örtüyü, Dağlıq Ərazi Torpaqlarının Bioloji Məhsuldarlığı, Ekzogen Və Antropogen Amillərin Onların Morfo-Genetik Xüsusiyyətlərinə Və Məhsuldarlığına Təsiri. (Azərbaycan’ın Toprak Örtüsü, Dağlıq Arazilərin Topraklarının Biyoloji Verimliliği, Ekzojen və Antropojen faktörlərin Onların Morfo-Jenetik Özelliklərinə və Verimliliyinə Etkisi.) Bakü: MBM.
- Tarım Özel İhtisas Komisyonu. (2014). Onuncu Kalkınma Planı Tarım Özel İhtisas Komisyonu Tarım Arazilərinin Sürdürülebilir Kullanımı Raporu. Kalkınma Bakanlığı, Ankara.
- Tarım Özel İhtisas Komisyonu. (2018). On Birinci Kalkınma Planı Toprak ve Suyun Sürdürülebilir Kullanımı Tarım Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Kalkınma Bakan., Ank.
- Toor, G. S., Shober, A. L. ve Reisinger A. J. (2018). Soils and Fertilizers for Master Gardeners: Soil Organic Matter and Organic Amendments. *Department of Soil and Water Sciences, UF/IFAS Extension, SL2733.*
- TÜİK. (2020a). Bitkisel Üretim İstatistikleri, Tarım Alanları.
- UNCCD. (2017). Global Land Outlook (1st Ed.). Birleşmiş Milletler Çölleşme İle Mücadele Sözleşmesi, Almanya.
- Uz, B., 1992. Maden Ve Jeoloji Mühendisliğinde Petrografi Prensipleri, Genişletilmiş Iı. Baskı, İtü Maden Fakültesi Yayınları , İstanbul.
- White, C. (2014). *Grass, Soil, Hope: A Journey Through Carbon Country*. Vermont: Chelsea Green Publishing.

- Yang, B., Balazs, K. R., Butterfield, B. J., Laushman, K. M., Munson, S. M., Gornish, E. S., & Barberán, A. (2022). Does restoration of plant diversity trigger concomitant soil microbiome changes in dryland ecosystems?. *Journal of Applied Ecology*, 59(2), 560-573.
- Yang, G., Ryo, M., Roy, J., Lammel, D. R., Ballhausen, M. B., Jing, X., ... & Rillig, M. C. (2022). Multiple anthropogenic pressures eliminate the effects of soil microbial diversity on ecosystem functions in experimental microcosms. *Nature communications*, 13(1), 4260.
- Yılmaz, K., Gündogan, R., Demirkıran, A.R. 2000. Pedogenesis and classification of soils in Kahramanmaraş Province, Turkey. *Proceeding of International Symposium an Desertification*, pp. 517-522, Konya, Turkey.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Seyran HÜSEYNLİ
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	Tarih girmek için tıklayın veya dokununuz.
Uyruğu	<input type="checkbox"/> T.C. <input checked="" type="checkbox"/> Diğer: azeri
E-Posta Adresi	
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Baku Gence Devlet Üniversitesi
Fakülte	Kimya ve biyoloji
Bölümü	Biyoloji
Mezuniyet Yılı	2016-2020

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Moleküler Biyoloji ve Genetik bölümü
Programı	Moleküler Biyoteknoloji ve Genetik Programı