

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**STRÜKTÜREL KABUK OLUŞMUŞ TOPRAKTA MISIR KÖKENLİ  
BİYOKÜTLE UYGULAMALARININ TOPRAK MİKROBİYEL ÇEŞİTLİLİĞİ  
ÜZERİNE ETKİLERİ**

**Seher KIZICI**

**TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI**

**ANKARA  
2023**

**Her hakkı saklıdır**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

STRÜKTÜREL KABUK OLUŞMUŞ TOPRAKTA MISIR KÖKENLİ BİYOKÜTLE UYGULAMALARININ TOPRAK MİKROBİYEL ÇEŞİTLİLİĞİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Seher KIZICI

Ankara Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Oğuz Can TURGAY

Toprak sağlığı sorunlarının temelinde, fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerin bozulması yatmaktadır ve özellikle düşük toprak agregat stabilitesi, yetersiz organik madde seviyesine bağlı olarak kaymak tabakası oluşumu büyük problemler arasındadır. Tarımsal faaliyetler sırasında ortaya çıkan bitkisel atıkların toprağa organik materyal olarak yeniden kazandırılması hem sürdürülebilir tarımın sağlanması hem de bahsedilen problemlere çözüm olması açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle tez çalışmasında, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Sarıcalar Araştırma ve Uygulama çiftliğinde yer alan kil ve kireç içeriği yüksek, zayıf strüktürlü ve kaymak tabakası problemi olan toprağa mısır kökenli çeşitli organik materyaller uygulanmıştır. Mısır ekimi yapılan tarla denemesine, (YA) mısır yeşil aksamı, (A) mısır anızı ve (KO) mısır anızı kompostu, ayrı ayrı 2 ve 4 ton/da dozlarında kullanılmıştır. Uygulamaların toprak fiziko-kimyasal özellikleri ve bakteriyel çeşitlilik üzerindeki etkileri incelenmiştir. Organik materyallerin bakteriyel komünite yapısı üzerine etkisi, NGS analizi ile belirlenmiştir.

Genel olarak, anız uygulamaları toprakta organik madde, azot ve fosfor içeriğini önemli derecede arttırmıştır. Yeşil aksam uygulamaları ise toprağın kireç miktarını arttırmış, fakat organik madde miktarında önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. Tüm organik materyal uygulamaları kontrole göre topraktaki agregat stabilitesini iyileştirmiştir. Bakteriyel komünite yapısı anız ve yeşil aksam uygulamaları diğer uygulamalara kıyasla değiştirmiştir. Alfa çeşitlilik analizinde, anızın 2 ton/da uygulamasının en yüksek ve dengeli bakteriyel çeşitliliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Tüm uygulamalarda öne çıkan bakteriyel şubeler *Actinobacteriota*, *Proteobacteria* ve *Chloroflexi*'dir. Toprağın fizikokimyasal özelliklerinin, özellikle pH, organik madde ve agregat stabilitesi, bakteriyel komünite yapısını şekillendirmede önemli olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak bu tez çalışmasında, doğrudan anız uygulamasının, kimyasal gübrelemeye göre, toprağın fiziko-kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.

**Kasım 2023, 55 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Organik gübre, yeşil gübre, kompost, mısır, bakteriyel çeşitlilik, NGS

## **ABSTRACT**

Master Thesis

**EFFECTS OF CORN ORIGIN BIOMASS APPLICATIONS ON SOIL MICROBIAL  
DIVERSITY IN STRUCTURAL CRUSTED SOIL**

Seher KIZICI

Ankara University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Prof. Dr. Oguz Can TURGAY

The basis of soil health problems lies in the deterioration of physical, chemical and biological properties, and especially low soil aggregate stability and formation of physical crust due to insufficient organic matter levels are among the major problems. The recycling of plant waste generated during agricultural activities into the soil as organic material is critically important both for ensuring sustainable agriculture and for solving the mentioned problems. For this reason, in the thesis study, various corn-based organic materials were applied to the soil with high clay and lime content, weak structure and physical crust problem in the Selcuk University Faculty of Agriculture- Saricalar Research and Application Farm. In the field trial where corn was planted, (YA) corn green manure, (A) corn residue and (KO) corn residue compost were used separately at doses of 2 and 4 tons/da. The effects of the applications on soil physico-chemical properties and bacterial diversity were examined. The effect of organic materials on bacterial community structure was analyzed by high-throughput sequencing.

Generally, residue applications have significantly increased the content of organic matter, nitrogen, and phosphorus in the soil. Green manure, on the other hand, have increased the lime content of the soil but have not sufficiently increased the amount of organic matter. All organic treatments have improved soil aggregate stability compared to the control. The bacterial community structure has changed with residue and green manure compared to other treatments. In alpha diversity analysis, it was found that the application of residue at 2 tons/da had the highest bacterial diversity. The dominant bacterial phyla in all applications are Actinobacteriota, Proteobacteria, and Chloroflexi. It has been found that the physicochemical properties of the soil, especially pH, organic matter, and aggregate stability, play a significant role in shaping the bacterial community structure. In conclusion, this thesis determines that direct application of crop residues improves the physicochemical and biological properties of the soil compared to chemical fertilization.

**November 2023, 55 pages**

**Key Words:** Organic fertilizer, green manure, compost, corn, bacterial diversity, NGS

## TEŞEKKÜR

Bilgi birikimi, deneyimi ve yönlendirmeleriyle beni her zaman desteklediği için değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Oğuz Can TURGAY'a (Ankara Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı) sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tarla denemesinin kurulmasına ve toprak örneklemesine yardımlarından dolayı sayın Prof. Dr. Cevdet ŞEKER'e ve Dr. Öğr. Gör. Hamza NEGİŞ'e (Selçuk Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı), biyoinformatik analizlerimde bana destek olan sayın Yrd. Doç. Dr. Raşit Aşiloğlu'na (Niigata Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Protistoloji Laboratuvar), deney ve istatistik çalışmalarında desteğini esirgemeyen sayın Dr. Öğr. Üyesi Muhittin Onur AKÇA'ya (Ankara Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı), teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmama kaynak sağlayan Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Koordinatörlüğüne (BAP) teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca bana yardımcı olan, bana verimli ve hoş bir çalışma ortamı sağlayan laboratuvar arkadaşım Nihal Ceren ALICI'ya teşekkür ederim.

Sevgisini ve inancını her zaman yanımda hissettiğim değerli annem ve babama minnettirim.

Çalışmamın her aşamasında gösterdiği sabrıyla maddi ve manevi yanımda olan hayat arkadaşım Aykut KIZICI'ya teşekkür ederim.

Seher KIZICI  
Ankara, Kasım 2023

## İÇİNDEKİLER

### TEZ ONAY SAYFASI

|  |      |
|--|------|
| ETİK.....  | i    |
| ÖZET.....  | ii   |
| ABSTRACT.....  | iii  |
| TEŞEKKÜR.....  | iv   |
| KISALTMALAR DİZİNİ.....  | vii  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....   | viii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....   | ix   |
| 1. GİRİŞ .....   | 1    |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ .....   | 5    |
| 3. MATERYAL ve YÖNTEM.....   | 13   |
| 3.1 Materyal.....  | 13   |
| 3.1.1 Tarla denemesi.....  | 13   |
| 3.1.2 Deneme alanının özellikleri .....  | 13   |
| 3.1.3 Tohum.....   | 15   |
| 3.1.4 Mısır kökenli organik materyaller .....                                      | 15   |
| 3.2 Yöntem .....   | 16   |
| 3.2.1 Tarla denemesinin kurulması.....   | 16   |
| 3.2.2 Tarla denemesi konuları .....  | 17   |
| 3.2.3 Mısır kökenli organik materyallerin hazırlanışı .....                        | 17   |
| 3.2.4 Toprak örnekleme.....  | 19   |
| 3.2.5 Toprak analizleri .....  | 20   |
| 3.2.5.1 Fiziksel toprak analizleri .....   | 20   |
| 3.2.5.2 Kimyasal toprak analizleri .....   | 20   |
| 3.2.5.3 Biyolojik toprak analizleri.....   | 21   |
| 3.2.6 İstatistiksel analizler .....  | 21   |
| 3.2.6.1 Fiziksel ve kimyasal toprak analiz sonuçlarının istatistiksel analizi..... | 21   |
| 3.2.6.2 Dizileme sonrası elde edilen veri setinin analizi .....                    | 21   |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>4. BULGULAR ve TARTIŞMA .....</b>  | <b>23</b> |
| <b>4.1 Mısır Kökenli Organik Materyal Uygulamasının Toprak pH'sı Üzerindeki Etkileri .....</b>  | <b>23</b> |
| <b>4.2 Mısır Kökenli Organik Materyal Uygulamasının Toprak EC'si Üzerindeki Etkileri .....</b>  | <b>24</b> |
| <b>4.3 Mısır Kökenli Organik Materyal Uygulamasının Toprak Kireci Üzerindeki Etkileri .....</b>   | <b>26</b> |
| <b>4.4 Mısır Kökenli Organik Materyal Uygulamasının Toprak Organik Maddesi Üzerindeki Etkileri.....</b>   | <b>28</b> |
| <b>4.5 Mısır Kökenli Organik Materyal Uygulamasının Toprak Azot İçeriği Üzerindeki Etkileri .....</b>   | <b>30</b> |
| <b>4.6 Mısır Kökenli Organik Materyal Uygulamasının Toprak Fosfor İçeriği Üzerindeki Etkileri.....</b>  | <b>32</b> |
| <b>4.7 Mısır Kökenli Organik Materyal Uygulamasının Toprak Agregat Stabilitesi Üzerindeki Etkileri.....</b>                                     | <b>33</b> |
| <b>4.8 NGS Analizi Sonucu Elde Edilen Veri Setinin Biyoformatik Analiz Sonuçları .....</b>  | <b>35</b> |
| <b>4.8 Mısır Kökenli Organik Materyal Uygulamalar Arası Toprak Bakteriyel Komünitesi Üzerinde Oluşturduğu Alfa Çeşitliliği Analizleri .....</b> | <b>37</b> |
| <b>4.8.1 Gözlenen OTU sayısı (bakteriyel zenginlik) .....</b>   | <b>37</b> |
| <b>4.8.2 Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının bakteriyel komünitelerdeki çeşitlilik ve dağılıma etkisi .....</b>                      | <b>38</b> |
| <b>4.8.3 Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının bakteriyel komünitelerdeki filogenetik çeşitliliğe etkisi .....</b>                     | <b>39</b> |
| <b>4.9 Mısır kökenli organik materyal uygulamaları koşullarında bakteriyel komünitelerin taksonomik yapısı .....</b>                            | <b>40</b> |
| <b>4.10 NMDS analizi.....</b>   | <b>41</b> |
| <b>4.11 Toprak kimyasal ve fiziksel özellikleri ile bakteriyel komünite arasındaki ilişki .....</b>   | <b>42</b> |
| <b>4.12 LDA analizi .....</b>   | <b>43</b> |
| <b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİ .....</b>   | <b>46</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>   | <b>49</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>  | <b>55</b> |

## KISALTMALAR DİZİNİ

|      |   |
|------|---|
| DNA  | Deoksiribo Nükleik asit                       |
| rRNA | Ribozomal RNA ( Ribozomal Ribo Nükleik asit ) |
| TMÇ  | Toprak Mikrobiyal Çeşitliliği                 |
| TBÇ  | Toprak Bakteriyel Çeşitliliği                 |
| NGS  | Yeni Nesil Dizi Analizi                       |
| NMDS | Non-metric MultiDimensional Scaling           |
| PLFA | Phospholipid Fatty Acid Analisis              |
| PCR  | Polymerase chain reaction                     |
| LDA  | Linear Discriminant Analysis                  |
| DGGE | Denaturing Gradient Gel Electrophoresis       |
| OTU  | Operational Taxonomic Unit                    |
| AWCD | Average Well-Color Development                |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| Şekil 3.1. Deneme alanının uydu görüntüsü.....  | 13 |
| Şekil 3.2 Deneme alanında mısır ekimi sonrası toprakta oluşan kaymak tabakası.....  | 14 |
| Şekil 3.3 Hasat sonrası tarla denemesinden bir görüntü.....   | 16 |
| Şekil 3.4 (A) Doğrudan uygulamada ve kompost yapımında kullanılacak mısır hasat artığı, (B) mısır hasat artığı kompostu.....                    | 18 |
| Şekil 3.5 (A) DNA analizi için her bir parselden alınan örnekleme düzeni, (B) Çelik silindir yardımıyla gerçekleştirilen toprak örnekleme.....  | 19 |
| Şekil 3.6 NGS analizi basamakları.....  | 22 |
| Şekil 4.1 Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının toprağın pH'sına etkisi.....   | 24 |
| Şekil 4.2 Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının toprağın EC'sine etkisi.....   | 26 |
| Şekil 4.3 Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının toprağın kireç içeriğine etkisi.....   | 28 |
| Şekil 4.4 Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının toprağın organik madde içeriğine etkisi.....   | 30 |
| Şekil 4.5 Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının toprağın azot içeriğine etkisi.....  | 31 |
| Şekil 4.6 Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının toprağın alınabilir fosfor içeriğine etkisi.....                                       | 33 |
| Şekil 4.7 Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının toprağın agregat stabilitesi üzerine etkisi.....                                       | 35 |
| Şekil 4.8 Uygulamalar arası gözlenen OTU sayıları.....  | 37 |
| Şekil 4.9 Uygulamalar arası görülen çeşitlilik ve bakteriyel dağılımı (Shannon metriği).....  | 38 |
| Şekil 4.10 Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının bakteriyel komünitenin filogenetik çeşitliliği üzerindeki etkisi (Faith metriği)..... | 39 |
| Şekil 4.11 Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının bakteriyel komünitelerindeki taksonomik yapıya etkisi (şube düzeyinde).....           | 41 |
| Şekil 4.12 Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının toprak bakteriyel kompozisyonu üzerine etkisi (NMDS analizi).....                     | 42 |
| Şekil 4.13 Bakteriyel komünitenin şekillenmesinde toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin etkisi.....                                      | 43 |
| Şekil 4.14 Mısır kökenli organik materyallerin toprakta bulunan bakteriyel komünite üzerindeki ayırt edici etkisi.....                          | 44 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| Çizelge 3.1 Deneme alanı konuları.....  | 17 |
| Çizelge 4.1 Topraktaki pH içeriğine ait ortalamaların istatistiksel analizi.....                | 23 |
| Çizelge 4.2 Topraktaki EC içeriğine ait ortalamaların istatistiksel analizi.....                | 25 |
| Çizelge 4.3 Topraktaki kireç içeriğine ait ortalamaların istatistiksel analizi.....             | 27 |
| Çizelge 4.4 Topraktaki organik madde içeriğine ait ortalamaların istatistiksel analizi.....     | 29 |
| Çizelge 4.5 Topraktaki azot içeriğine ait ortalamaların istatistiksel analizi.....              | 31 |
| Çizelge 4.6 Topraktaki alınabilir fosfor içeriğine ait ortalamaların istatistiksel analizi..... | 32 |
| Çizelge 4.7 Toprağın agregat stabilitesine ait ortalamaların istatistiksel analizi.....         | 34 |
| Çizelge 4.8 Önişleme sonrası elde edilen okumalar.....  | 36 |

## 1. GİRİŞ

Birleşmiş Milletler Tarım ve Gıda Örgütü (FAO) verilerine göre, 2050 yılında 9 milyar olması gereken dünya nüfusunu besleyebilmek için, gıda üretiminin günümüze kıyasla 60-70% oranında artırılması gerekecektir. Bu hedefe ulaşabilmek için sürdürülebilir tarım yöntemlerinin benimsenmesi ve geliştirilmesi esastır. Tarımsal üretim için ihtiyaç duyulan kaynakların, tarımsal üretimi uzun vadede sürdürebilecek şekilde yenilenebilmesi, daha az girdi ile daha yüksek verim elde edilmesi ve ekosistem bileşenlerinin korunması gerekmektedir. Bu bağlamda, toprağa bitkisel kökenli organik materyallerin eklenmesi önemli bir rol oynamaktadır. Toprağa bırakılan bitkisel organik materyaller, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirerek, bitkiler için daha uygun bir büyüme ortamı oluşturur (Doran ve Zeiss 2000). Bunun yanı sıra bitkisel organik materyallerle toprağı gübreleme, toprağın mikrobiyal çeşitliliğini (TMC) artırarak toprak sağlığına önemli katkılar sağlar. Gübrelemenin olduğu sürdürülebilir tarım yöntemleri, yalnızca toprak sağlığını iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda tarımsal üretimi uzun vadede sürdürebilir kılar. Bu, FAO'nun 2050 yılına dair öngörülerini gerçekleştirmek için kritik öneme sahiptir.

Tarım topraklarının kimyasal, fiziksel ve biyolojik özelliklerindeki bozulmalar, tarımsal sürdürülebilirlik açısından kısıtlayıcı faktörlerin başında gelmektedir. (Şeker ve Karakaplan 1999). Ülkemiz toprakları özelinde organik madde kapsamının son derece düşük olması (Sönmez 2018), toprakların tamponlama ve su tutma kapasitesini olumsuz etkilemesinin yanı sıra, agregat stabilitesini de düşürerek toprakların strüktürel yapısını zayıf tutmaktadır. Toprağın organik kapsamını arttırmak amacıyla uygulanan mısır hasat artıkları, yüksek biyokütle verimliliğine sahiptir ve önemli bir organik madde kaynağıdır. Ancak yüksek selüloz ve lignin içeriği nedeniyle toprağa doğrudan uygulandığında parçalanma ve ayrışma süreçleri yavaş olmakta, bu durum hem tohum yatağı hazırlanmasını güç hale getirmekte, hem de mikroorganizmaların azot için bitki ile rekabete girmesi nedeniyle fazladan azotlu gübre uygulamasını zorunlu kılmaktadır. Bunun yanı sıra bitki artıkları üzerinde bulunabilecek olan zararlılar da daha yüksek düzeyde pestisit tüketimini beraberinde getirmektedir. Bu darboğazlardan dolayı hasat artıkları pek çok bölgede yakılarak yok edilmekte ve değerli bir organik madde kaynağı

kaybedilmektedir. Ayrıca, zaman zaman karşılaşılan bir diğer problem de silajda oluşan bozulmalardır ki bozulan silaj hayvanlara yem olarak verilememektedir. Mısır hasat artıklarını kompostlaştırmak, bahsedilen problemlerin çözümüne yönelik iki önemli avantaj sunar. İlk olarak, kompostlanmış materyal toprağı besin maddeleriyle zenginleştirerek bitkiler için daha uygun bir kök ortamı oluşturur. İkinci olarak, kompostlama sürecinde oluşan mezofilik ve termofilik sıcaklık seviyeleri, yabancı ot tohumları ve patojenleri etkisiz hale getirir. Ayrıca kompostlama sonunda oluşan humus benzeri yapı sayesinde toprakların strüktür özellikleri gelişerek, su tutma kapasiteleri arttırılacaktır. Hasat artıklarının yüzey alanı arttırılarak mikrobiyolojik parçalanma sürecinin hızlandırılması ile de bitki için azot noksanlığı bertaraf edilmiş olacak ve ekim güçlükleri azaltılmış olacaktır. Mısır anızının kompostlanmasının yanında, anızın parçalanıp doğrudan toprağı verilmesi de çeşitli avantajlar sunar; kompostlama, toprakta besin döngüsünü hızlandırır ve patojenleri etkisiz hale getirirken, doğrudan toprağı verilen anız ise toprağın organik madde kapsamını yükseltir, erozyonu azaltır ve toprak mikroorganizmaları için doğal bir habitat oluşturur. Bu uygulamaların yanında, yeşil gübre olarak da bilinen bitkisel materyalin toprak üstü yeşil aksamının, işlemden geçirilmeden toprağı karıştırılması oldukça önemli bir diğer yöntemdir. Yeşil gübreleme, özellikle azot gibi temel bitki besin elementlerini toprağı geri kazandırabilir ve böylece kimyasal gübre ihtiyacını azaltabilir (Kumar 2019). Aynı zamanda, yeşil gübreleme TMC'yi zenginleştirir, ki bu uygulama da organik madde dönüşümü ve toprak sağlığının iyileştirilmesine katkı sağlar (Drinkwater 1998). Yeşil gübreleme, sürdürülebilir tarım uygulamaları arasında yer alması, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini bütüncül bir şekilde iyileştirir, böylece toprak sağlığı ve bitki verimliliği arasındaki ilişkiyi güçlendirmektedir. Dolayısıyla ülkemiz topraklarının organik madde içeriğinin arttırılmasına ilişkin önlemlerin alınması, toprak sağlığının iyileştirilmesi ve tarımsal sürdürülebilirliğin sağlanması açısından oldukça önem arz etmektedir. Organik madde yönetiminin iyi bir şekilde yapılabilmesi, başta azot, fosfor, potasyum ve kükürt olmak üzere bitki besin maddelerinin toprağı ilavesinin yanı sıra, toprakların tamponlama, su tutma kapasitesi, agregat oluşumu gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerini de geliştirmektedir. Bu durumda hem toprak canlılarına ihtiyaç duydukları besin maddeleri sağlanabilmekte, hem de içinde bulundaki ortamın fiziksel ve kimyasal koşulları yaşamın devamlılığı için uygun hale gelmektedir.

Toprak biyoçeşitliliği, dünya üzerindeki toplam biyoçeşitliliğin yaklaşık dörtte birine tekabül eder ve toprak üzerindeki yaşamı destekler. Toprak biyoçeşitliliği desenini, bakteri, arke, protist ve mantar gibi mikroorganizmalar oluşturur. Fakat, bu çeşitliliğin bel kemiği toprak bakterileridir. Toprak bakterileri hem abiyotik hem de biyotik stres faktörlerine karşı bitkiye bir koruma kalkanı sağlarken, azot fiksasyonu gibi besin maddesi dönüşümleri ile de ürün kalitesini önemli ölçüde etkilerler. Toprak bakteriyel çeşitliliği (TBC), ekosistem fonksiyonlarını, özellikle de organik madde dönüşümü ve besin maddesi döngüsü gibi kritik süreçleri, önemli ölçüde etkilemektedir (Wagg 2014). Toprak bakterileri, özellikle hücre-dışı enzimler ve polisakkaritler üreterek toprak yapısını iyileştirir ve bu durum, toprak agregatlarının oluşumuna, su tutma kapasitesinin artmasına ve toprağın genel fiziksel özelliklerinin gelişmesi gibi olumlu durumlara yol açar (Lehmann 2017). Bu bağlamda toprak bakteriyel çeşitliliği, topraktaki mikro habitat koşullarına ve toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Sayılan nedenlerden ötürü, toprak biyoçeşitliliği, toprak sağlığının en önemli göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir (Usman 2016).

1960'lı yıllarda geliştirilen NGS (yeni nesil dizi analizi) teknolojisi, son yıllarda toprak bakteriyel çeşitliliğinin araştırılmasında önemli bir araç haline gelmiştir. NGS teknolojileri, biyolojik materyallerin DNA dizilemesi yüksek doğrulukta ve hızda yapılabilmektedir. Toprak Biliminde toprak biyolojik çeşitliliğinin NGS ile belirlenmesine yönelik ilk çalışma 2006 yılında yayınlanmıştır (Leininger 2006) ve toprak mikrobiyolojisi açısından bu teknolojilerin kullanımı 2010'lu yıllarla birlikte daha yaygın hale gelmiştir. Özellikle 16S rRNA geni dizilemesi gibi yöntemler, toprakta bulunan bakteriyel türlerin çok daha geniş bir yelpazede anlaşılmasını sağlamıştır. Çevresel DNA (eDNA), topraktan toplanan örnekler içerisinde farklı organizmalardan kaynaklanan genetik materyali ifade eder. Topraktan alınan eDNA'nın NGS ile analiz edilmesi, kültüre alınamayan mikroorganizmaları da analiz etmeyi mümkün kılar. NGS ile elde edilen yüksek çözünürlüklü veriler, tür seviyesinde analizlere imkân tanır. Zamanla gelişen dizileme sistemleri aslında yerin birkaç cm altındaki bu çeşitliliğinin beklenenden daha yüksek olduğunu göstermiştir (Buee 2009). Mevcut NGS platformları çok kısa bir süre içinde milyonlarca DNA dizisi ürettiğinden farklı ekosistemlerdeki toprak biyoçeşitliliği ile ilgili meta-barkodlama çalışmalarının sayısı giderek artmaktadır.

NGS teknolojileri ile elde edilen geniş veri setleri, toprak biyoçeşitliliğinde meydana gelen varyasyonların toprak yapısı, arazi kullanımı ve toprak iyileştirme uygulamaları gibi faktörlere bağlı olarak nasıl değişebileceğinin yorumlanması açısından çok kıymetlidir. Alfa çeşitliliği, bir ekosistemin içinde bulunan türlerin çeşitliliği ve zenginliğine işaret ederken, beta çeşitliliği, farklı biyolojik topluluklar arasındaki tür çeşitliliğinin karşılaştırmalı analizini sunar ve geniş ölçekte bir ölçüm olarak kabul edilir. NGS analizi sonrası elde edilen veri seti ile yapılan alfa ve beta çeşitlilik analizleri, bakteriyel komünitelerin daha geniş ölçekte analiz edilmesini sağlar.

Tez çalışmasına materyal teşkil eden toprak, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi-Sarıcalar Araştırma ve Uygulama çiftliği koşullarında bulunan, zayıf strüktürlü, yoğun kaymak tabakası oluşumunun gözlemlendiği, kil ve kireç içeriği yüksek sorunlu bir topraktır. Özellikle ilkbahar ekimlerinden sonra toprak yüzeyinde oluşan yaygın ve sert kaymak tabakası sürgün çıkışlarını önemli ölçüde kısıtlamaktadır. Bu problemlere karşı çözüm olarak, mısır bitkisi (i) yeşil aksamı, (ii) hasat artıkları talaşı ve (iii) hasat artıkları kompostu uygulanmış koşullarda toprağın fiziko-kimyasal özellikleri ve bakteriyel çeşitlilikte meydana gelen değişimlerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Toprağa mısır kökenli organik materyal ilavesi, genel olarak bakteriyel faaliyetler için gereken besin maddesi niceliği ve niteliğini artırmaktadır. Bu artış TBÇ'yi olumlu yönde etkilemektedir. Mısır kökenli organik materyal uygulamaları arasındaki bakteriyel çeşitliliği anlayabilmek için NGS analizi kullanılmıştır. NGS'nin avantajları, yüksek çözünürlüklü veri sağlama ve kültüre alınamayan mikroorganizmaları da kapsama ile elde edilen bu detaylı genetik bilgiler, toprak mikroorganizmaları, toprak sağlığı ve bu uygulamaların toprak ekosistemi üzerindeki potansiyel etkileri hakkında derinlemesine değerlendirmeler yapılmasına olanak sağlayacaktır. Bu tez çalışması ile, bahsedilen iyileşmelerin toprağın biyolojik yapısına olan olası etkilerinin TBÇ boyutunda da ortaya konması ve Türkiye koşullarında arazi kullanımı/bozulumu/rehabilitasyonu-TBÇ ilişkileri bağlamında literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır. Değerlendirmeye esas olarak, topraktan izole edilecek olan bakteriyel DNA, yüksek düzeyde DNA verisini kısa sürede işlemeye imkân sağlayan NGS platformu kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu yönü ile proje önerisinin Türkiye Toprak Bilimi'nin modernizasyonu açısından örnek ve pilot bir çalışma olduğu düşünülmektedir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

(Fang vd. 2007), Böcek istilalarına karşı dirençli olma özelliği gösteren genetiği değiştirilmiş (Bt *Zea mays*) ve değiştirilmemiş (Non-Bt *Zea mays*) mısır anızı uygulamalarının, toprağın bakteriyel komüniteyi ve karbon mineralizasyonu üzerindeki etkisini tarla denemesi ile incelenmişlerdir. Çalışmada, bakterilerin substrat kullanım desenlerini analiz etmek için Biolog GN2 mikroplakları, bakteriyel komüniteyi analiz etmek için toprak DNA ekstratları PCR ve jel elektroforezi (DDGE) kullanılmıştır. Bt ve Non-Bt mısırı anızı uygulamaları, kontrole kıyasla kümülatif CO<sub>2</sub> salınımını etkilememiştir. Bu sebeple çalışmada, mısır anız uygulamalarının toprak solunumunu etkilemediği vurgulanmıştır. Benzer şekilde her iki uygulamada da bakteri sayısı anlamlı bir şekilde etkilenmemiştir. Bt mısır anızı ile gübrelenen uygulamalarda, karbonlu substrat kullanımı açısından, diğer uygulamalara göre önemli bir fark elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan bakteriyel komünite yapısı analizleri (PCR ve DDGE), günümüzde yapılan dizi analizlerinin temelini oluşturacak yöntemler içermektedir.

(Navarro vd. 2010), Bu araştırmada çeşitli toprak işleme ve hasat atığı yönetiminin toprakta yaşayan bakteri toplulukları üzerindeki etkisini incelenmektedir. 1991 yılında başlatılan uzun vadeli bir tarla denemesinden seçilen sıfır toprak işleme ve konvansiyonel toprak işleme ile, hasat atıklarının kaldırıldığı ya da bırakıldığı yöntemler incelenmiştir. Bulgular, artıkların bırakıldığı ve sıfır toprak işlemenin yapıldığı toprak örneklerinde, bakteriyel çeşitliliğin ve tür zenginliğinin en yüksek olduğunu göstermektedir. Çok değişkenli istatistiksel analiz, faydalı bakteri türlerinin (*Pseudomonas* ve *Burkholderiales*), anız yönetimi uygulamasından pozitif bir şekilde etkilendiğini göstermiştir.

(Ahn vd. 2012), Uzun süreli organik ve inorganik gübreleme uygulanan çeltik tarlasında bakteri ve arke toplulukları incelenmiştir. Organik gübrelemenin, bakteri ve arke bolluğunu arttırdığını ve bu organizmaların komünite yapısının ve aktivitesinin uzun süreli gübrelemeden ve mevsim değişikliğinden etkilendiği belirlenmiştir.

(Navarro-Noya vd. 2013), Araştırmada, sınırlı sürüm, konvansiyonel sürüm, hasat artığı yönetimi, mısır-buğday anızı ve yalnızca mısır anızı geri dönüşümünün, toprakta yaşayan bakteri topluluklarının kompozisyonu üzerindeki etkisi, 16S rRNA 454 pirodizileme (high-throughput sequencing) metodu temel alınarak incelenmiştir. Anız uygulanan parsellerde, uygulanmayanlara göre Bacteroidetes, Cyanobacteria, Gemmatimonadetes, Myxococcales şubelerinin bolluğu istatistiksel açıdan önemli ölçüde artmıştır. Bunun yanı sıra, uygulama topraklarında ölçülen toprağın organik karbon kapsamı, Deltaproteobacteria ve Gammaproteobacteria ile pozitif, Gemmatimonadetes ile negatif ilişkilendirilmiştir.

(Kumar vd. 2014), Yeşil gübreleme ile ilgili çalışmaları kapsayan derlemede, yeşil gübreleme uygulamalarının, kontrollere kıyasla topraktaki mikrobiyal biyokütleyi ve aktiviteyi arttırdığı analiz edilmiştir. Yeşil gübrelerin, toprak mikroorganizmaları için zengin bir karbon ortamı oluşturması, bu durumun başlıca sebebi olarak bildirilmiştir. Mikrobiyal zenginliği ve aktiviteyi desteklemesi, bitki için gerekli olan besin maddelerini doğal yoldan oluşturması, dolayısıyla toprak verimliliğini yükseltmesi sebebiyle yeşil gübrelerin önemi vurgulanmıştır.

(Tao vd. 2017), Çalışma, dört farklı bitki (*Vicia villosa*, yabani fiğ, süt fiği, turp) yetiştirilip hasat edildikten sonra, mısır yetiştirilen tarla denemesine, yeşil gübre olarak uygulanmıştır. Süt fiği yeşil gübresinin, mısır verimini %31.3 arttırması, toprak bakteri komünitesi ve toprak özellikleri ile ilişkilendirilmiştir. Özellikle, Acidobacteria ve Verrucomicrobia gruplarının yüksek seviyeleri, mısır üretimi ile olumlu bir ilişki gösterirken, Proteobacteria ve Chloroflexi'nin bolluğu ters bir etki göstermiştir. Ayrıca, toprak pH seviyesi, topraktaki azot ve potasyum kapsamı gibi faktörler, bakteri topluluklarını ve dolayısıyla mısır verimini belirleyen kritik etmenler olduğu bildirilmiştir.

(Cesarano vd. 2017), Güney İtalya'da yapılan sera denemesinde farklı gübreleme rejimlerinin (kimyasal gübre, ahır gübresi, yonca samanı) ve uygulama sıklığının roka üretimi, toprak verimliliği ve mikrobiyal topluluklar üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Kimyasal gübre uygulamaları, toprağın pH'ını düşürmüş ve organik karbon içeriğini

azaltmıştır. Öte yandan, organik materyal uygulamaları, toprakta pH dengesini korumuş, organik karbon ve mikrobiyal aktiviteyi artırmıştır. Özellikle biyokömürlü yonca samanı uygulaması, toprak yapısını iyileştirmiş ve bakteri çeşitliliğini artırmıştır. Ayrıca, organik uygulamalar Firmicutes ve Proteobacteria gibi bakteri şubelerinin bolluğunu artırmış, Aktinobakterler ise kimyasal gübrelere daha baskın hale gelmiştir. Araştırma, organik materyal uygulamalarının toprak sağlığı ve mikrobiyal çeşitlilik için olumlu etkilerinin olduğunu göstermektedir.

(Chen vd. 2017), Çalışmada, farklı gübreleme rejimlerinin (mısır ve buğday anızı, buğday anızı, domuz gübresi), bakteri topluluğu üzerine etkisi incelenmiştir. Yüksek kapasiteli 16S rRNA dizileme teknolojisi kullanılarak bakteri topluluklarının incelendiği bu çalışmada, komünitenin çoğunlukla Proteobacteria ve Acidobacteria gruplarından oluştuğunu gözlenmiştir. Organik materyaller bırakılan uygulamalar, kontrole göre daha yüksek bakteri çeşitliliği göstermiştir. Buğday ve mısır sapı anızının en yüksek dozlarının uygulandığı parsellerde, toprağın azot, potasyum, fosfor, organik karbon ve enzim aktiviteleri diğer parsellere kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür.

(Ho vd. 2017), Çalışmada, uzun süreli 4 farklı gübreleme rejimi (kontrol, kimyasal gübre, ahır gübresi, ahır + kimyasal gübre) uygulandığı kara toprakta, mikrobiyal karbonu ve kopiotrofik bakteri bolluğunu en fazla arttıran uygulamanın ahır gübresi olduğu bildirilmiştir.

(Kumar vd. 2018), 47 yıl boyunca organik ve inorganik gübre uygulanan çeltik toprağında yürütülen çalışmada, organik gübrelemenin kimyasal gübrelemeye nazaran mikrobiyel komünite kompozisyonunu değiştirdiğini ve bakteri bolluğunu arttırdığını ortaya konmuştur. Bunun yanı sıra, sürekli kimyasal gübre uygulamasının, diazotrofik bakteri topluluklarını baskıladığını bildirmişlerdir.

(Luo vd. 2018), Organik olarak yönetilen toprakların ürün verimine ve toprak iyileşmesine etkisini araştırmak amacıyla 690 araştırmanın bir araya getirildiği meta analiz çalışması sonucunda, organik uygulamaların ürün verimini, kimyasal gübrelenen topraklara kıyasla %24 arttırdığı ve en fazla etkiye sahip uygulamanın çiftlik gübresi

olduğu bildirilmiştir. Organik işlenmiş toprakların, kimyasal gbrelenenlere göre toprağın organik karbon miktarını (%38), toplam azot miktarını (%20), mikrobiyal biyokütle karbonunu (%51) ve mikrobiyal biyokütle azotunu (%24) arttırdığı rapor edilmiştir.

(Feng vd. 2018), Çin'in Anhui Eyaleti'nde 30 yıllık bir tarla denemesinde, kimyasal gübrelemenin, toprakta diazotrofik (azot bağlayıcı) mikroorganizma çeşitliliğini olumsuz etkilediği ortaya konmuştur. Hayvan gübresi eklenmesi ise bu çeşitliliği koruyabilmiştir. Çalışma, buğday-soya fasulyesi ve buğday-mısır rotasyonları üzerine yapılmıştır. Nif genleri üzerinden yapılan NGS analizi ile mikroorganizmaların filogenetik ve taksonomik çeşitliliği değerlendirilmiştir. Kimyasal gübre uygulaması, mikrobiyal çeşitliliği azaltırken, hayvan gübresi (inek ve domuz) bu çeşitliliği korumuştur. Çalışmada, *Bradyrhizobium*, *Leptolyngbya*, *Burkholderia* ve *Rhizobium* en baskın diazotrofik cinsler olarak belirlenmiştir. Çalışma, diazotrofik bakteri çeşitliliğinin pH değişimine duyarlı olduğu ve bu sebeple organik materyal uygulamalarının toprak sağlığı için önemli olduğu vurgulanmaktadır.

(Suleiman vd. 2018), çalışmada, çeşitli endüstriyel ve tarım atıklarının, toprak mikrobiyal komnitesine ve N<sub>2</sub>O salınımına etkisini araştırılmıştır. Ayrıca çalışmada bu atıkların, karbonlu bileşeklerin ayrışması ile ilgili işlevleri vurgulanmıştır. şeker kamışının ekimi yapılan bu tarla denemesinde, parsellere NPK gübresiyle karıştırılmış şeker kamışı sapı ve etanol endüstrisinin yan ürünü (vinasse) uygulanmıştır. şeker kamışı sapı ve vinasse atıklarının, toprağın mikrobiyal yapısı ve potansiyel işlevleri üzerinde değerlişliklere yol açtığı grlmştur. Mikrobiyal çeşitlilikte en belirgin değerlişim, şeker kamışı sapının eklendiği uygulamalarda meydana gelmiştir. Vinasse uygulaması söz konusu olduğunda, spor oluşturan mikroorganizmalar dikkat çekici bir şekilde artmıştır. şeker kamışı sapı ve vinasse uygulamaları azot metabolizmasıyla ilişkin mikroorganizmaların sayısını arttırmıştır. Bu atıkların beraber uygulanması, N<sub>2</sub>O salınımını maksimum seviyeye ulaştırmıştır.

(Xu vd. 2020), çalışmada, mısır sapı samanı muhafazası ve örtü bitkisi ekiminin, toprak organik maddesi ve toprak mikrobiyal topluluğu üzerindeki etkileri, uzun süreli bir tarla

denemesi ile incelenmiştir. Mikrobiyal komünite analizleri, PLFA ve 16S rRNA gen dizilemesi ile gerçekleştirilmiştir. Tarla denemesinde, mısır (*Zea mays*) ve mısır ile çavdar örtü bitkisi (*Secale cereal*) sistemi ana parseller olarak belirlenmiştir. Alt parsellerde mısır sapı tarlaya bırakılmış olup, kontrol parsellerde kaldırılmıştır. Uygulamalar sonucunda değişen toprak organik maddesinin içeriği, arbusküler mikorizal mantar biyokütlesi ve bakteriyel komüniteyi önemli ölçüde etkilemiştir. Uygulamaların sahip olduğu bakteriyel komüniteyi örtü bitkisi ekimi değiştirmezken, mısır sapı samanının muhafazası değiştirmiştir. Mısır sapı bırakılan uygulamalarda, Myxococcales takımının bolluğu artarken, Actinobacteria şubesinin bolluğu azalmıştır. NMDS ve RDA analizlerinde, mısır sapının muhafazasının olduğu parseller, kontrol grubundan belirgin olarak ayrılmıştır.

(Wang vd. 2020), Çalışmada gerçekleştirilen uzun süreli tarla denemesinde, sürüm yapılmamış toprakta, mısır anızı uygulamalarının farklı dozlarının, toprak mikrobiyal çeşitliliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Mikrobiyal çeşitlilik analizleri, 16S rRNA ve ITS gen dizilemesi ile analiz edilmiştir. Kontrol grubuyla karşılaştırıldığında, anız muhafaza edilmiş ve sürüm yapılmamış uygulamalarda, mantar çeşitliliği anlamlı bir artış göstermiştir fakat bu uygulamaların bakteriyel çeşitlilik üzerinde anlamlı bir etkisi olmamıştır. Anız uygulaması, topraktaki Bacteroidetes şubesinin bolluğunu arttırırken, Chloroflexi şubesini azaltmıştır. Anız uygulamaları, toprağa oldukça yararlı cinsler içeren Rhizobiales ve Rhodospirillales gibi ailelerin göreceli bolluğunu olumlu yönde etkilemiştir. Aynı zamanda bu uygulamalarda mısırdaki ayak çürüklüğü hastalığına neden olan *Fusarium graminearum* ve *Fusarium moniliforme* bolluğu önemli derecede artış göstermiştir. Farklı anız dozları, kontrole göre toprağın toplam azot ve karbon içeriklerini arttırmış fakat amonyum azotunu azaltmıştır. Bu çalışma, hasat atığı yönetiminin, toprak özelliklerini iyileştirici yönde etkisi olduğunu vurgulamaktadır.

(Liu vd. 2020), Üç yıl süren mısır tarlası denemesinde, uygulanan farklı türden mısır kökenli organik materyaller (parçalanmış saman, saman kompostu ve saman kökenli biyokömür), karbonhidrat metabolizması kapsamında çalışan mikroorganizmaların bolluğunu arttırmış ve bu değişikliğe karşı toprak mikrobiyomunun işlevsel tepkisinde

değişiklikler gözlenmiştir. Üstelik, ince kıyılmış saman, mikrobiyal çeşitliliği kompostlaşmış saman ve biyokömüre kıyasla daha fazla etkilemiştir.

(He vd. 2020), Tarla denemesi, İtalyan çimi (*Lolium multiflorum*) ve İtalyan pirinci (*Oryza sativa L.*) rotasyonunun olduğu Güney Çin bölgesinde kurulmuştur. Pirinç yetiştirilen deneme alanına 6 farklı dozda İtalyan çimi yeşil gübresi uygulanmış ve 40 gün boyunca çürümeye bırakılmıştır. 10 gün arayla örnekleme yapıp, örnekler NGS analizi ile dizilenmiştir. Yeşil gübre uygulaması, topraktaki Proteobacteria ve Acidobacteria şubelerinin bolluğunu arttırmıştır. Uygulamanın 30. Gününden sonra, çürüme oranları yavaşlamıştır ve bakteriyel çeşitlilik yeşil gübreleme yapılan uygulamalarda, kontrole kıyasla yüksek çürüme oranıyla olumlu ilişkilendirilmiştir.

(Li vd. 2021), Üç senelik bir tarla denemesinde, kimyasal gübre ve farklı çeşitteki organik gübrelerin (kimyasal gübreli saman, biyokömür, domuz ve solucan gübreleri) bakteriyel komünite çeşitliliğine ve toprak agregatlarına etkisini incelenmiştir. Hayvansal kaynaklı organik gübrelerin bakteriyel çeşitliliği, diğer uygulamalara göre daha fazla bulunmuştur. Organik materyal uygulanan parsellerde, kontrollere kıyasla, Bacteroidetes ve Gemmatimonadetes taksonlarının bolluğunu artırırken, Chloroflexi, Acidobacteria ve Planctomycetes'i azaltmıştır. Saman uygulaması, kimyasal gübreli kontrole göre makroagregat içeriğini %265 arttırmış ancak mikroagregat içeriğini %61.4 azaltmıştır. Bu çalışma, bakteriyel çeşitliliğin, makroagregatlarla pozitif bir ilişkisi olduğunu vurgulamaktadır.

(Zhao vd. 2021), Gerçekleşen inkübasyon denemesinde, mısır kökenli biyokömür ve mısır samanı uygulamalarının, toprak karbon havuzlarına ve bakteriyel çeşitliliğe etkilerini araştırılmıştır. Mısır samanı uygulamasının, diğer uygulamalara göre mikrobiyal biyokütle karbonunu (MBC), çözünmüş organik karbonu (DOC) ve kolay oksitlenebilir karbon (EOC) seviyelerini arttırdığı görülmüştür. Bakteriyel komünite yapısını daha ayrıntılı anlamak amacıyla gerçekleşen mikrobiyal çeşitlilik analizleri, 16S rRNA dizilemesi ile gerçekleştirilmiştir. NGS analizinde, mısır samanı uygulamasının, Bacteroidetes ve Chloroflexi şubelerinin bolluğunu azaltırken, Actinobacteria bolluğunu arttırdığı görülmüştür. Yapılan alfa çeşitlilik analizlerinde (Shannon ve Simpson metriği)

ise, mısır samanı uygulamasının, biyokömür ve kontrole göre bakteriyel çeşitliliği önemli ölçüde arttırdığı bildirilmiştir.

(Siedt vd. 2021), Derleme çalışmasında, toprağa uygulanan farklı organik materyallerin (saman, kompost, biyokömür) arasında karşılaştırma yapılmıştır. Organik materyal olarak saman uygulamaları, topraktaki mikrobiyal kütle ve aktiviteyi arttırdığı bildirilmiştir. Özellikle ince öğütülmüş saman gübresi uygulaması, toprak mikroorganizmaları için substratın daha hızlı kullanılabilmesinin önemi vurgulanmıştır. Bunun yanı sıra, toprak bakterileri, saman gübresinin C/N oranı yüksek olduğundan, azotlu materyallerle uygulanmasına daha etkili bir yanıt oluşturmuşlardır. Öte yandan bilimsel çalışmaların büyük bir çoğunluğu, kompostun toprağın fiziksel ve kimyasal yapısını iyileştirerek, mikrobiyal aktiviteyi olumlu yönde etkilediğini bildirmişlerdir.

(Salas vd. 2021), Mısır ve buğday rotasyonu olan bir tarla denemesinde, farklı toprak işleme ve atık yönetiminin (mısır anızı muhafazası) sürdürüldüğü çalışmada, toprak bakteriyel topluluk yapısı incelenmiştir. Toprak işlemsiz ve anız muhafazasının olduğu uygulamanın, en yüksek organik karbona sahip olduğu bildirilmiştir. Mikrobiyal çeşitlilik analizleri, 16S rRNA gen dizilemesi ile analiz edilmiştir. Ürün döngüsü süresince, toprak özellikleri (su düzeyi ve NO<sub>3</sub><sup>-</sup> konsantrasyonu) bakteri topluluk yapısında önemli değişikliklere yol açmıştır. Bu değişimler, *Achromobacter*, *Bacillus*, *Halomonas*, *Kaistobacter*, *Pseudomonas* ve *Serratia* gibi altı özgü bakteri cinsi ile ilişkilendirilmiştir.

(Shu vd. 2022), Dünya genelinde 219 farklı çalışmayı bir araya getiren derlemede, organik materyallerin toprak mikroorganizmaları üzerindeki etkisini incelemiştir. Meta analiz sonuçlarına göre, kimyasal gübrelemeye göre organik gübreleme, mikrobiyal çeşitliliği ve zenginliği anlamlı derecede yükseltmektedir. Aynı zamanda, organik gübrelemenin ürün verimini de olumlu etkilediği tespit edilmiştir.

(Dincă vd. 2022), Çeşitli gübre uygulamalarının (organik ve kimyasal) toprak mikroorganizmaları üzerindeki etkisini araştıran derleme, 1990-2022 yılları arasında yayınlanmış çalışmaları kapsamaktadır. Derlemede yer alan araştırmalar, organik gübrelemelerin toprak kalitesinin göstergesi olan dehidrogenaz enzim aktivitesini

arttırdığını raporlamışlardır. Aynı zamanda bu gübrelerin, besin döngüsü ile ilişkili Proteobacteria ve Firmicutes şubelerinin üremelerini teşvik ettiğini bildirmişlerdir. Bunun aksine, uzun süreli uygulanan kimyasal gübrelemenin, toprak pH'ını düşürdüğü ve fosforun yarıyışlı hale geçmesini sağlayan mikrobiyal toplulukların bolluğu azalttığı sonucuna varılmıştır. Dahası, fosforlu organik bileşikleri mineralize edebilen Actinobacteria ve Proteobacteria taksonlarının bolluklarını olumsuz etkilediği sonucuna varılmıştır. Nitrifikasyon olayında görev alan bakteri ve arkelerin bolluklarının, kimyasal ve organik gübrelerin beraber uygulandığı durumlarda daha etkili desteklenebileceği rapor edilmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 Materyal

##### 3.1.1 Tarla denemesi

Çalışmada kullanılacak toprak örnekleri, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesinin Sarıcalar Araştırma ve Uygulama çiftliğinde ( $38^{\circ}05'31''K$ ,  $32^{\circ}36'28''D$ ) kurulan deneme alanından temin edilmiştir.



Şekil 3.1 Deneme alanının uydu görüntüsü

##### 3.1.2 Deneme alanının özellikleri

Seçilmiş araştırma bölgesi, yarı arid iklim özelliklerine sahiptir; kış mevsimi soğuk ve yağış alırken, yazlar genellikle sıcak ve kuru geçmektedir. Yağışlar büyük ölçüde kış aylarında yağar. Mayıs, 43.5 mm ile en fazla yağış alan aydır, Ağustos ise sadece 4.9 mm yağışla en kurak aydır. Toplam yıllık yağış 322.4 mm iken, bu miktarın yetiştirme dönemi olan Nisan-Ekim arasında 153.7 mm olduğu kaydedilmiştir. Uzun yılların ortalamasına göre, en yüksek sıcaklıklar Temmuz ve Ağustos aylarında  $30.1^{\circ}C$  iken, en

düşük sıcaklık  $-0.2^{\circ}\text{C}$  ile Ocak ayında ölçülmüştür. Ortalama yıllık sıcaklık  $11,6^{\circ}\text{C}$ , ortalama bağıl nem yüzde 60,8 ve ortalama yıllık buharlaşma 1199.7 mm olarak belirlenmiştir (MGM, 2018).

Deneme için seçilen arazi, genellikle yaz aylarında tarım kullanılmaktadır ve zayıf toprak yapısal özelliklere sahiptir. Bu özellikler arasında düşük agregat stabilitesi, yüksek dispersiyon oranı ve yüksek kırılma değeri yer almaktadır. Özellikle ilkbahar ekimlerinin ardından toprak yüzeyinde sert ve yaygın bir kaymak tabakasının oluşması bitkilerin sürgün çıkışını ciddi anlamda engel teşkil etmektedir (**Şekil 3.2**).



Şekil 3.2 Deneme alanında mısır ekimi sonrası toprakta oluşan kaymak tabakası

Entisol ordosunda sınıflanan deneme alanı toprağı, düz ve düze yakın eğimde yer alan ve yaşlı aluviyal taban araziler üzerinde gelişen, derin ve tüm profili kil tekstürlü topraktır. Toprak özelliklerine dair yapılan ölçümler, deneme alanının ortalama olarak %56,38 kil, %31,46 silt ve %12,16 kum içerdiğini göstermektedir. Ortalama pH değeri 7,59 ve elektrik iletkenliğı (EC) 0,509 dS/m olarak belirlenmiştir. Değişken sodyum içeriğı %1,0 (%0,329-2,326 aralığı), kireç miktarı %10,26, organik madde oranı %1,75, dispersiyon oranı %54,99 ve agregat stabilitesi %17,51 (%13,09-%22,17 aralığı) olarak kaydedilmiştir. Ayrıca, kırılma değeri 148 kPa (48,7-287,7 kPa aralığı) olarak tespit edilmiştir (Bal ve ark., 2011).

### 3.1.3 Tohum

Bitki materyalleri, SY Dracma silajlık mısır tohumundan (*Zea mays*) üretilmiştir. Tohum çeşidinin hasat olum süresi 100-110 gündür. Tohum, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesinden temin edilmiştir.

### 3.1.4 Mısır kökenli organik materyaller

Deneme alanında mısır kökenli üç çeşit organik materyal kullanılmıştır (yeşil aksam, doğrudan anız ve anız kompostu).

- Yeşil aksam uygulamasında, olum dönemindeki silajlık mısırın, toprak üstü yeşil aksamı kullanılmıştır. Silaj dönemindeki yeşil mısır biyokütlesinin pH'sı  $4.48 \pm 0.01$ , nem içeriği  $\%75.14 \pm 0.716$ , azot içeriği  $\%1.42 \pm 0.063$  ve karbon içeriği de  $\%43.98 \pm 0.657$  olarak belirlenmiş olup C/N oranı 30.97 olarak belirlenmiştir.
- Doğrudan anız uygulamasında, hasattan sonra arazide kalan bitki artıklarının toprak üstü aksamı parçalanarak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan mısır hasat artığının azot içeriği  $\%0.74 \pm 0.113$  ve organik karbon içeriği  $\%38.69 \pm 1.501$  ölçülmüş olup, C/N oranı ise 52.28 olarak belirlenmiştir.
- Kompost uygulamasında kullanılan organik materyal, mısır hasadı sonrasında parçalanmış hasat artıklarının, 10 haftalık kompostlama işleminden geçirilmesiyle elde edilmiştir. Bu sürecin sonunda,  $\%2.42 \pm 0.0065$  azot ve  $\%31.84 \pm 0.557$  karbon (C/N=13.13) içeren kompost hazırlanmıştır.

## 3.2 Yöntem

### 3.2.1 Tarla denemesinin kurulması

Deneme Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Sarıcalar Araştırma ve Uygulama çiftliğinde, tesadüf blokları deneme desenine göre kurulmuştur. Arazi boyutları üç tekerrürlü 5 m x 3 m (15 m<sup>2</sup>) boyutlarında 33 parselle ayrılmış ve rototiller ile işlenerek yüzey düzeltmesi yapılmıştır. Her bir parselde silajlık mısır, 70 cm sıra aralığına ve 14-16 cm sıra üstü mesafeye sahip dört sıra halinde ekilmiştir. Blok ve parseller arası 2 m mesafe olacak şekildedir. Farklı formlardaki mısır biyokütle uygulamaları, tesadüf blokları deneme desenine göre dağıtılmış ve belirli dozlarda parsel yüzeyine uygulanarak ve rototiller kullanılarak 0-20 cm toprak derinliğine karıştırılmıştır. Parsellere Mayıs 2021’de silajlık mısır ekimi yapılmış ve Ekim 2021’de hasat işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3 Hasat sonrası tarla denemesinden bir görüntü

### 3.2.2 Tarla denemesi konuları

Deneme alanı uygulamaları **Çizelge 3.1**' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Deneme alanı konuları

| Uyg. Kodu  | Uygulamalar              | Uygulama Dozları   |
|------------|--------------------------|--|
| <b>K</b>   | Kontrol                  |  |
| <b>KG</b>  | Kimyasal gübreli kontrol | 30 kg $\text{NH}_4+\text{NO}_3\text{-N}$ $\text{da}^{-1}$ (üre ve amonyum sülfat), 22 kg $\text{P}_2\text{O}_5$ $\text{da}^{-1}$ (diamonyum fosfat), 10 kg $\text{K}_2\text{O}$ $\text{da}^{-1}$ (potasyum sülfat, %50 $\text{K}_2\text{O}$ ), 6.75 mg $\text{Fe}$ $\text{kg}^{-1}$ (demir sülfat), 0.3 mg $\text{Cu}$ $\text{kg}^{-1}$ (bakır sülfat), 7.5 mg $\text{Mn}$ $\text{kg}^{-1}$ (mangan sülfat) ve 3.6 mg $\text{Zn}$ $\text{kg}^{-1}$ gübrelemesi |
| <b>A2</b>  | Doğrudan Anız Uygulaması | Parçalanmış mısır anızı (<15 mm), (2 ton/da)   |
| <b>A4</b>  | Doğrudan Anız Uygulaması | Parçalanmış mısır anızı (<15 mm), (4 ton/da)   |
| <b>KO2</b> | Kompost Uygulaması       | Mısır anızı kompostu uygulaması (2 ton/da)   |
| <b>KO4</b> | Kompost Uygulaması       | Mısır anızı kompostu uygulaması (4 ton/da)   |
| <b>YA2</b> | Yeşil aksam uygulaması   | Silaj dönemi (2 ton/da)  |
| <b>YA4</b> | Yeşil aksam uygulaması   | Silaj dönemi (4 ton/da)  |

### 3.2.3 Mısır kökenli organik materyallerin hazırlanışı

Çalışmada kullanılan mısır hasat artıkları, yüzey alanının artırılması için 15 mm'den geçecek şekilde parçalanmıştır. Mısır hasat artıkları parçalandıktan ve eşit bir şekilde karıştırıldıktan sonra iki farklı gruba ayrılmıştır. Bir grup doğrudan kullanılmış, diğer grup ise kompostlaştırıldıktan sonra uygulanmıştır.



Şekil 3.4 (A) Doğrudan uygulamada ve kompost yapımında kullanılacak mısır hasat artığı, (B) mısır hasat artığı kompostu

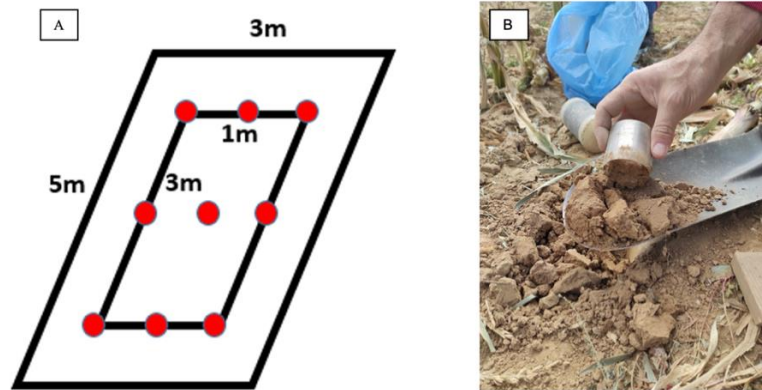
Kompostlama işleminde sık havalandırılmalı sıralı yığın (windrows) kompostlama yöntemi kullanılmıştır. Kompostun olgunlaşmasını çabuklaştırmak amacıyla, başlangıçta 1 ton kuru madde için 50 kg melas ve 200 kg olgunlaşmış çiftlik gübresi eklenmiş, bu miktarlar kuru madde bazında hesaplanmıştır. Optimum kompostlama koşullarını sağlamak için hazırlanan malzemenin C/N oranı üre gübresi eklenerek 25-30:1 arasına, su içeriği ise %55-60 seviyesine getirilmiştir. Amonyak şeklindeki azot kayıplarını minimize etmek için kimyasal gübre iki aşamada eklenmiştir (yarısı ilk aktarmada, diğer yarısı ise ikinci aktarmada). Materyal, beton bir zemin üzerine 2-2,5 metre genişlikte ve 0,9-1,0 metre yükseklikte bir yığın şeklinde düzenlenmiştir. Yığının nem kaybını önlemek ve eşit olgunlaşmayı teşvik etmek için başlangıçta polietilen bir örtü ile kaplanmıştır. Yığın sıcaklığı ve nem seviyesi izlenmiş, ve bu parametreler gerektiğinde ayarlanmıştır. Eğer nem seviyesi %55'in altına düşerse su eklenmiş, %60'ın üzerine çıkarsa yığın aktarılarak düzenlenmiştir. Aktarma işlemi hem sıcaklığı kontrol etmeye hem de yığına taze hava sağlamaya yaramıştır. Kompostun homojen olgunlaşması için yığın iç ve dış kısımları aktarılmıştır. Olgunlaşma süreci, kompost rengi koyu kahverengiye dönüşene, sıcaklık uygun koşullar altında 35°C'nin altına düşene, amonyak kokusu kaybolana ve C/N oranı 17-18:1'in altına düşene kadar sürmüştür.

Silajlık mısırın hasadı, silaj makinası ile hasat edilerek gerçekleştirilmiştir. Hasat edilen parçalanmış yeşil mısır biyokütlesinde örneklem yapılarak nem tayini yapılmış ve fırın kuru ağırlık esasına 1, 2 ve 4 ton/da dozlarında parsel uygulamaları yapılmıştır. 18 Eylül

2020 tarihin de mısır biyokütlesinin farklı form ve dozları parsellere uygulandıktan sonra, 0-20 cm toprak derinliğine rotatiller ile karıştırılmış ve Mayıs 2021’ de yapılacak silajlık mısır ekimine kadar bu şekilde bırakılmıştır.

### 3.2.4 Toprak örnekleme

DNA analizi için örnekleme, hasat uygulamasının etkilerinden ve bitki kökleri kaynaklı DNA bulaşmalarından kaçınmak amacıyla deneme uygulama trafiğinin sona erdiği tarihten 15 gün sonra (13 Ekim 2021), COST Action ES1406 tarafından bildirildiği gibi (Şekil A) dokuz farklı noktadan (0-20cm), paslanmaz çelik silindir (53 x 50 mm) kullanılarak toplanmıştır. Çelik silindir her parsel değişiminde %1 (v/v) hipoklorit çözeltisi ile yıkanmış ve kurulanmıştır. Her parselden toplanacak temsili örnekler temiz bir kilitli naylon poşette birleştirilmiş ve karıştırılmak suretiyle homojenize edilmiştir. Bu şekilde toplam 33 toprak örneği elde edilmiştir. Homojenize edilen örneklerden yaklaşık 50 gr toprak ayrılmış, 50 ml kapasiteli kilitli naylon poşetlere aktarılmıştır. DNA analizi için ayrılan bu toprak örnekleri laboratuvara getirilene kadar buz kutusunda muhafaza edilmiş, laboratuvarında -20 °C koşullarda DNA ekstraksiyonu aşamasına kadar saklanmıştır. DNA ekstraksiyonu için gerekli olan kısım ayrıldıktan sonra geriye kalan toprak örnekleri oda koşullarında kurutularak 2 mm’den elenmiştir. Bu örnekler, fiziksel ve kimyasal toprak analizleri için muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.5 (A) DNA analizi için her bir parselden alınan örnekleme düzeni, (B) Çelik silindir yardımıyla gerçekleştirilen toprak örnekleme

### **3.2.5 Toprak analizleri**

#### **3.2.5.1 Fiziksel toprak analizleri**

- Agregat stabilitesi: Toprak örneklerinin agregat stabilitesi Kemper ve Rosenau (1986), tarafından önerilen yöntemle göre analiz edilmiştir.
- Tekstür (Bünye): Toprak örneklerinin kum, silt ve kil fraksiyonları Bouyoucos (1951) tarafından bildirildiği şekilde Hidrometre yöntemine göre belirlenerek, tekstür sınıfları “Soil Survey Manual” (1951)’e göre saptanmıştır.

#### **3.2.5.2 Kimyasal toprak analizleri**

- Toprak reaksiyonu (pH): 1/2,5 oranında saf suda (Jackson, 1962) saturasyon ekstraktında cam elektrotlu pH metre ile Richards (1954) tarafından belirtildiği gibi yapılmıştır.
- Elektriksel iletkenlik (EC): Elektriksel iletkenlik değeri 1:2,5 oranında saf su ile sulandırılmış toprak örneğinde EC metre ile belirlenmiştir (Richards, 1954).
- Toprak organik maddesi: Jackson (1962) tarafından bildirildiği gibi Walkley- Black yaş yakma yöntemine göre belirlenmiştir.
- Kireç kapsamı: Çağlar (1958) tarafından bildirildiği şekilde Scheibler kalsimetresi ile saptanmıştır.
- Toplam azot: Bremner (1965) tarafından bildirildiği şekilde Kjeldahl yöntemine göre belirlenmiştir.
- Organik karbon: inorganik karbon değerinin toplam karbondan çıkarılmasıyla teorik olarak elde edilmiştir.
- Toprağın yarayışlı fosfor düzeyi: Olsen ve Sommers (1982) tarafından bildirildiği gibi belirlenmiştir.

### **3.2.5.3 Biyolojik toprak analizleri**

Toprak örneklerindeki DNA ekstraksiyonu, hazır DNA kiti (GeneMATRIX Soil DNA Purification Kit) kullanılarak, üretici firmanın belirlemiş olduğu talimatlara göre gerçekleştirilmiştir. NGS analizi, Ankara Üniversitesi Hayvan, Bitki Genomik Araştırma ve İnovasyon Merkezi” (AgriGenomik Hub) koşullarında hizmet alımı olarak gerçekleştirilmiştir. DNA ekstraksiyonu sonrası elde edilen DNA ürünleri, 16S rRNA geninin değişken V3 bölgesi 337f/518r bakteriyel primeri kullanılarak çoğaltılmıştır (amplifikasyon). PCR barkod indekslemesi sonrasında saflaştırılmış ampliconlar, Illumina MiSeq platformunda dizilenerek, 2 x150 bp okuma uzunluğunda, çift uçlu (paired-end) diziler elde edilmiştir.

### **3.2.6 İstatistiksel analizler**

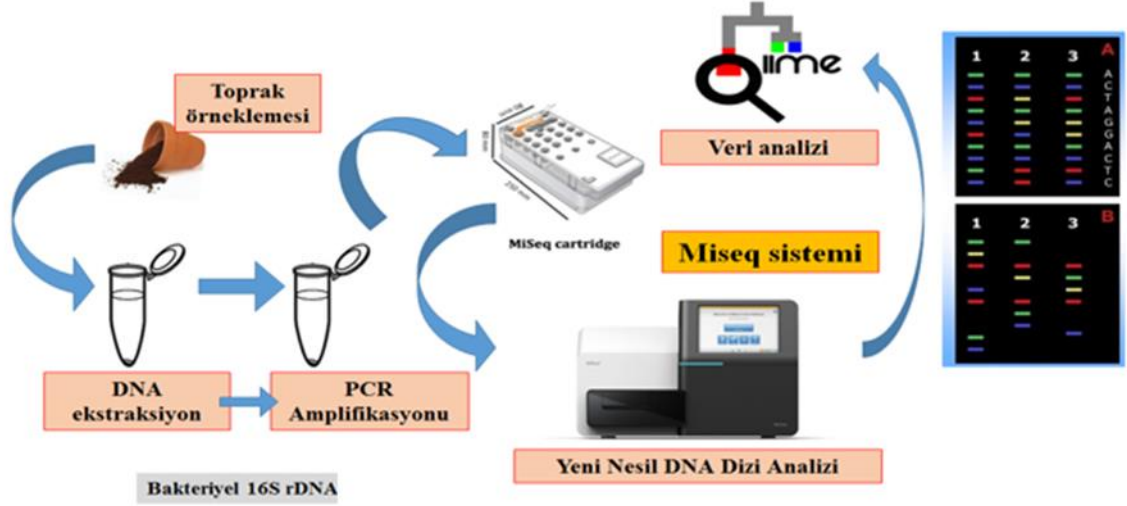
#### **3.2.6.1 Fiziksel ve kimyasal toprak analiz sonuçlarının istatistiksel analizi**

Farklı mısır kökenli organik materyal uygulamalarının, değişen dozları altında fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri üzerine etkileri, tesadüf parselleri deneme tertibinde, varyans analizi (ANOVA) tekniği ile irdelenmiştir. Farklı uygulamaların saptanmasında Duncan testi kullanılmıştır. Bu analizlerin istatistiksel olarak anlamlandırılması, IBM SPSS (version 29.0.1.0) paket programı ile gerçekleştirilmiştir.

#### **3.2.6.2 Dizileme sonrası elde edilen veri setinin analizi**

NGS analizi ile elde edilen DNA okuma sonuçları analizi için QIIME 2 platformu version 2020.11 (Caporaso vd., 2010) kullanılmıştır. QIIME 2 platformu içerisindeki DADA2 paketi (Callahan vd., 2016) yardımıyla ham diziler ön işleme tabi tutulmuştur. İşlenmiş DNA dizileri, QIIME 2 platformunu kapsamındaki q-2classifier ile açık kaynaklı bir operasyonel taksonomik birim (OTU) algoritması kullanılarak, Silva 16S rRNA veri

tabanı (Silva 138 99% OTUs full-length sequences) ile karşılaştırılmış ve OTU kümelerine dönüştürülmüştür.



Şekil 3.6 NGS analizi basamakları

Parseller arasındaki bakteri komünitelerindeki benzerlikleri tespit edebilmek için, NMDS (çok boyutlu doğrusal ölçek analizi), R programına dahil olan vegan paketi (R sürüm 4.3.1, <https://www.r-project.org/>) aracılığıyla, Bray-curtis mesafesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. R istatistik programındaki “envfit” uygulamasıyla, dizileme verileri (nispi bolluk) ile toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri arasındaki korelasyonlar değerlendirilmiştir. Uygulanan mısır kökenli organik materyallerin, bakteri komüniteleri üzerinde yarattığı farklılıklar, Phyton platformunda LDA (lineer diskriminant analizi) analiziyle edilmiştir.

## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1 Mısır Kökenli Organik Materyal Uygulamasının Toprak pH'sı Üzerindeki Etkileri

Tarla şartlarında yetişen mısır bitkisine uygulanmış, organik materyallerin topraktaki pH içeriğine ait ortalamaların, istatistiksel analizi **Çizelge 4.1**'de ve **Şekil 4.1**'de ifade edilmiştir.

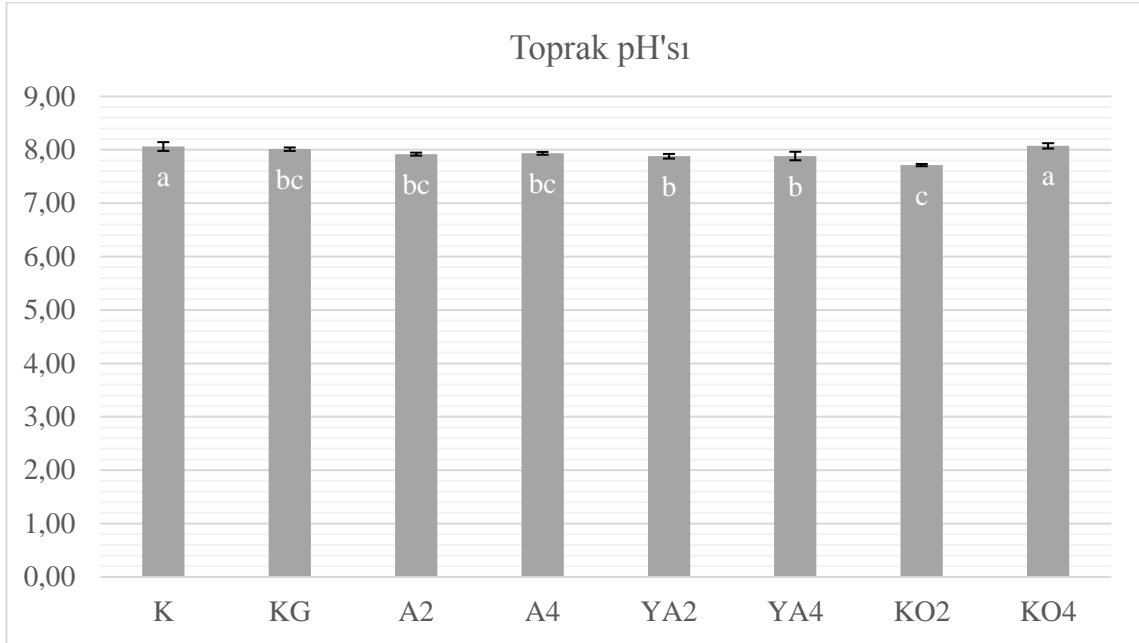
Çizelge 4.1 Topraktaki pH içeriğine ait ortalamaların istatistiksel analizi

| Organik Materyal Tipi | pH                  |
|-----------------------|---------------------|
| K                     | 8,06 ( $\pm 0,08$ ) |
| KG                    | 8,01 ( $\pm 0,03$ ) |
| A2                    | 7,92 ( $\pm 0,03$ ) |
| A4                    | 7,93 ( $\pm 0,03$ ) |
| YA2                   | 7,88 ( $\pm 0,04$ ) |
| YA4                   | 7,88 ( $\pm 0,08$ ) |
| KO2                   | 7,71 ( $\pm 0,02$ ) |
| KO4                   | 8,07 ( $\pm 0,05$ ) |
| F – değeri            | 5,374*              |

K: Kontrol, KG: Kimyasal gübrelili kontrol, A2: Doğrudan anız 2t/da, A4: Doğrudan anız 4t/da, YA2: Yeşil aksam 2t/da, YA4: Yeşil aksam 4t/da, KO2: Anız kompostu 2t/da, KO4: Anız kompostu 4t/da, istatistiksel açıdan küçük harfler farklı organik materyal tipleri ve dozları arasındaki farklar;  $p < 0.05^*$

Uygulamalar arası pH değerleri, 7,71-8,07 arasında değişkenlik göstermiştir. Toprak pH değeri bu aralık için hafif alkalın bir karakter sergilemesine rağmen, istatistiksel analizler, bu uygulamaların farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır (Şekil 4.1). Kontrol ve kompost 4t/da uygulamalarının pH bakımından istatistiksel olarak benzer etki gösterdiği görülmektedir. Kompost uygulaması 2t/da dozu, kontrole göre toprak pH'ını istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde azaltmaktadır. Adekiya vd. (2020), çeşitli organik gübreler (tavşan gübresi, inek gübresi, domuz gübresi, yeşil gübre, kümes hayvanları gübresi) ile

yürüttükleri çalışmalarında, uygulamalar arasında pH farklılığının olmadığını bildirmişlerdir.



Şekil 4.1 Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının toprağın pH'sına etkisi

K: Kontrol, KG: Kimyasal gübreli kontrol, A2: Doğrudan anız 2t/da, A4: Doğrudan anız 4t/da, YA2: Yeşil aksam 2t/da, YA4: Yeşil aksam 4t/da, KO2: Anız kompostu 2t/da, KO4: Anız kompostu 4t/da. Bütün değerler 5 ölçümün ortalamasıdır.

## 4.2 Mısır Kökenli Organik Materyal Uygulamasının Toprak EC'si Üzerindeki

### Etkileri

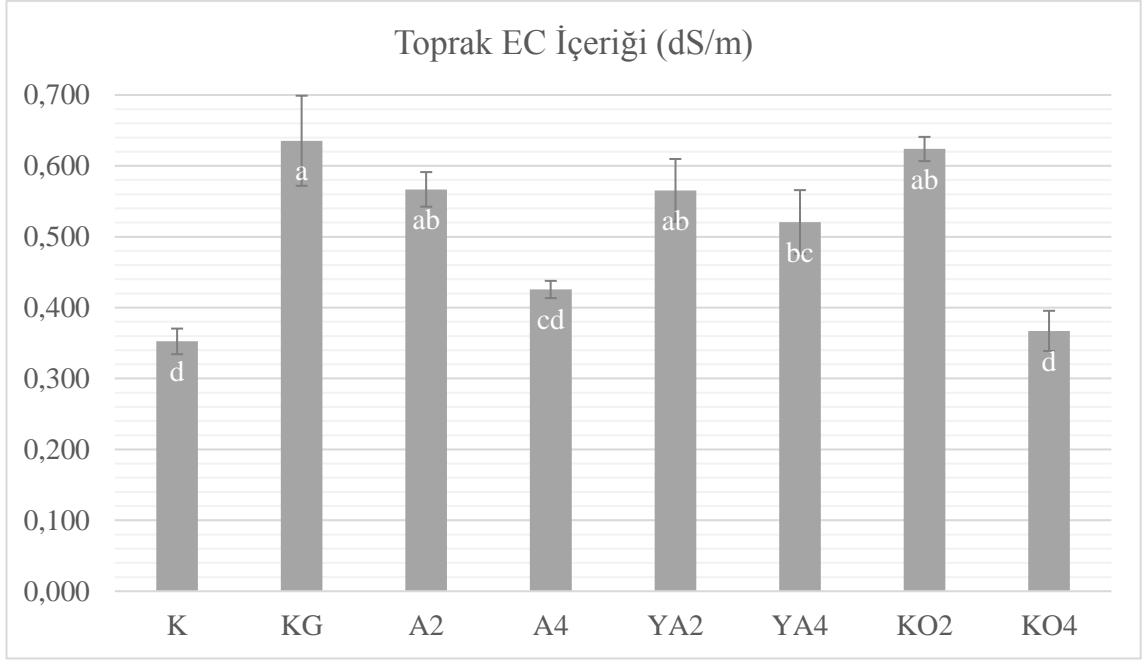
Tarla şartlarında yetişen mısır bitkisine uygulanmış, organik materyallerin topraktaki EC'sine ait ortalamaların, istatistiksel analizi çizelge 4.2 'de ve şekil 4.2'de ifade edildiği gibidir. Uygulamalarda görülen EC değerleri, 0,352-0,635 dS/m aralığında, orta tuzlu bir karakter göstermektedir ancak, istatistiksel analizler bu uygulamaların farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır (**Şekil 4.2**). En düşük EC değerine kontrol uygulamasının, en yüksek EC değerine kompost 4t/da uygulamasının sahip olduğu görülmektedir. Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının, kontrole göre, toprağın tuzluluğunu arttırması, istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Çizelge 4.2 Topraktaki EC içeriğine ait ortalamaların istatistiksel analizi

| <b>Organik Materyal</b> | <b>EC (dS/m)</b> |
|-------------------------|------------------|
| K                       | 0,352 (±0,02)    |
| KG                      | 0,635 (±0,06)    |
| A2                      | 0,567 (±0,02)    |
| A4                      | 0,426 (±0,01)    |
| YA2                     | 0,565 (±0,04)    |
| YA4                     | 0,521 (±0,04)    |
| KO2                     | 0,624 (±0,02)    |
| KO4                     | 0,367 (±0,03)    |
| <i>F – değeri</i>       | 9,794*           |

K: Kontrol, KG: Kimyasal gübreli kontrol, A2: Doğrudan anız 2t/da, A4: Doğrudan anız 4t/da, YA2: Yeşil aksam 2t/da, YA4: Yeşil aksam 4t/da, KO2: Anız kompostu 2t/da, KO4: Anız kompostu 4t/da, istatistiksel açıdan küçük harfler farklı organik materyal tipleri ve dozları arasındaki farklar;  $p<0.05^*$

Gondek vd. (2020), kompostlarda bulunan çözünabilir iyonların, toprak tuzluluğuna etkisini araştırdıkları derleme çalışmalarında, bazı kompost materyallerin toprağın tuzluluğunu arttırabileceğini vurgulamışlardır. Özellikle, kompostlarda bulunan  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2+}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $NO_3^-$  iyonlarının, tuzluluğa etkisini olabileceğini bildirmişlerdir. Uz vd. (2014), vermikompost ve ahır gübresi ile gerçekleştirdikleri inkübasyon denemesinde, tüm organik uygulamaların, kontrole kıyasla toprak EC'sini arttırdığını raporlamışlardır.



**Şekil 4.2** Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının toprağın EC'sine etkisi

K: Kontrol, KG: Kimyasal gübreli kontrol, A2: Doğrudan anız 2t/da, A4: Doğrudan anız 4t/da, YA2: Yeşil aksam 2t/da, YA4: Yeşil aksam 4t/da, KO2: Anız kompostu 2t/da, KO4: Anız kompostu 4t/da. Bütün değerler 5 ölçümün ortalamasıdır.

### **4.3 Mısır Kökenli Organik Materyal Uygulamasının Toprak Kireci Üzerindeki**

#### **Etkileri**

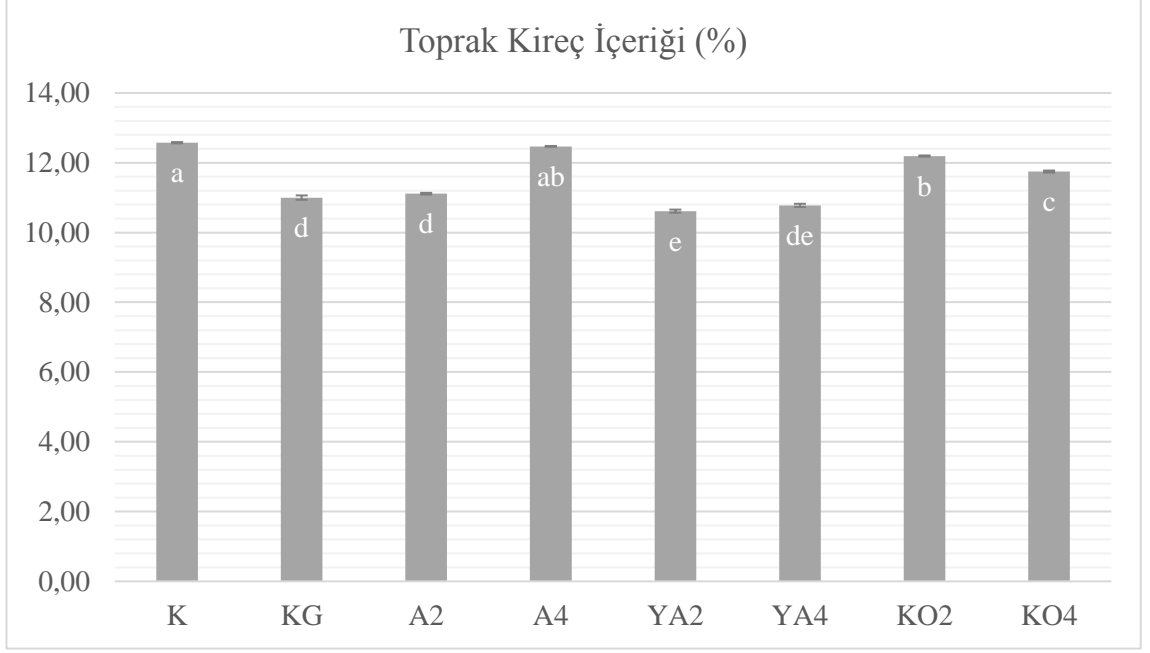
Tarla şartlarında yetişen mısır bitkisine uygulanmış, organik materyallerin topraktaki kireç içeriğine ait ortalamaların, istatistiksel analizi çizelge 4.3'te ve şekil 4.3'te ifade edildiği gibidir. Uygulamalar arası kireç değerleri, %10,94 -13,05 arasında değişmekle birlikte, uygulamaların tamamı orta tuzlu bir karakter göstermektedir ancak, istatistiksel analizler bu uygulamaların farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır (**Şekil 4.3**). En yüksek kireç içeriğine kontrol uygulaması, en düşük kireç içeriğine yeşil aksam 4t/da uygulaması sahiptir. Yeşil aksam ve anız 2t/da uygulamalarının, diğer uygulamalara göre topraktaki kireç miktarını anlamlı olarak azaltıcı yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.3 Topraktaki kireç içeriğine ait ortalamaların, istatistiksel analizi

| <b>Organik Materyal</b> | <b>Kireç İçeriği (%)</b> |
|-------------------------|--------------------------|
| K                       | 13,05 ( $\pm 0,1$ )      |
| KG                      | 11,78 ( $\pm 0,2$ )      |
| A2                      | 11,17 ( $\pm 0,05$ )     |
| A4                      | 12,52 ( $\pm 0,1$ )      |
| YA2                     | 11,22 ( $\pm 0,2$ )      |
| YA4                     | 10,94 ( $\pm 0,1$ )      |
| KO2                     | 12,05 ( $\pm 0,24$ )     |
| KO4                     | 11,87 ( $\pm 0,007$ )    |
| <i>F – değeri</i>       | <i>39,443*</i>           |

K: Kontrol, KG: Kimyasal gübreli kontrol, A2: Doğrudan anız 2t/da, A4: Doğrudan anız 4t/da, YA2: Yeşil aksam 2t/da, YA4: Yeşil aksam 4t/da, KO2: Anız kompostu 2t/da, KO4: Anız kompostu 4t/da, istatistiksel açıdan küçük harfler farklı organik materyal tipleri ve dozları arasındaki farklar;  $p < 0.05^*$

Tamer vd. (2021), Ayçiçek yetiştirdikleri tarla denemesinde çeşitli organik toprak düzenleyicilerinin (leonardit ve humik asit), toprağın kireç kapsamına anlamlı bir etkisi olmamakla birlikte, en yüksek kireç değerini gösteren, organik materyal uygulanmamış kontrol parseli olduğunu bildirmişlerdir. Cengiz vd. (2010), gerçekleştirdikleri çalışmada, tarla denemesinde yetiştirilen mısır (*Zea mays L.*) farklı gübreleme rejimleri (ticari gübre, çiftlik gübresi, tavuk gübre, yaprak gübresi) uygulamışlardır. Hasat sonrası yaprak gübrelemesi, toprağın kireç kapsamını kontrol parseline kıyasla azaltmıştır.



**Şekil 4.3 Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının toprağın kirecine etkisi**

K: Kontrol, KG: Kimyasal gübreli kontrol, A2: Doğrudan anız 2t/da, A4: Doğrudan anız 4t/da, YA2: Yeşil aksam 2t/da, YA4: Yeşil aksam 4t/da, KO2: Anız kompostu 2t/da, KO4: Anız kompostu 4t/da. Bütün değerler 5 ölçümün ortalamasıdır.

#### **4.4 Mısır kökenli organik materyal uygulamasının toprak organik maddesi**

##### **üzerindeki etkileri**

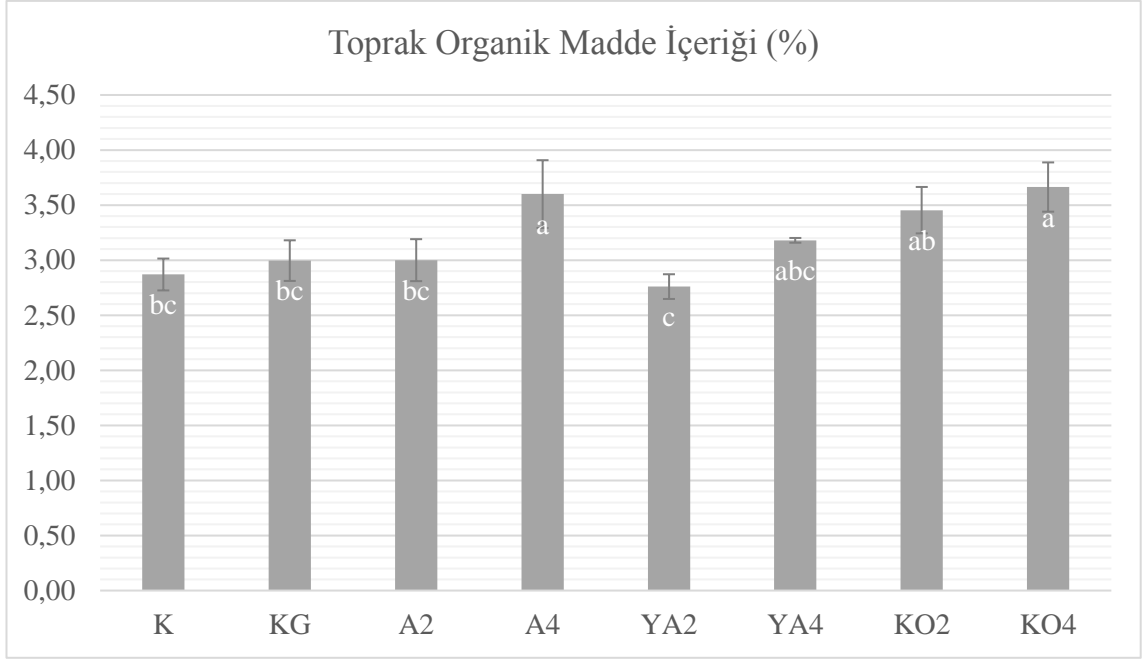
Tarla şartlarında yetişen mısır bitkisine uygulanmış, organik materyallerin topraktaki organik madde içeriğine ait ortalamaların, istatistiksel analizi çizelge 4.5'te ve şekil 4.5'te ifade edildiği gibidir.

Çizelge 4.4 Topraktaki organik madde içeriğine ait ortalamaların istatistiksel analizi

| Organik Materyal  | Organik Madde (%)    |
|-------------------|----------------------|
| K                 | 2,87 ( $\pm 0,145$ ) |
| KG                | 3,00 ( $\pm 0,184$ ) |
| A2                | 3,00 ( $\pm 0,191$ ) |
| A4                | 3,60 ( $\pm 0,308$ ) |
| YA2               | 2,76 ( $\pm 0,112$ ) |
| YA4               | 3,18 ( $\pm 0,022$ ) |
| KO2               | 3,45 ( $\pm 0,211$ ) |
| KO4               | 3,20 ( $\pm 0,224$ ) |
| <i>F – değeri</i> | 3,349*               |

K: Kontrol, KG: Kimyasal gübreli kontrol, A2: Doğrudan anız 2t/da, A4: Doğrudan anız 4t/da, YA2: Yeşil aksam 2t/da, YA4: Yeşil aksam 4t/da, KO2: Anız kompostu 2t/da, KO4: Anız kompostu 4t/da, istatistiksel açıdan küçük harfler farklı organik materyal tipleri ve dozları arasındaki farklar;  $p < 0.05^*$

Uygulamalar arası organik madde değerleri, %2,76-3,60 arasında değişmiştir (**Çizelge 4.4**). Elde edilen verilere göre, anız 4t/da, yeşil aksam 4t/da ve kompost uygulamalarının, kontrol ve kimyasal kontrol uygulamalarına göre, toprağın organik maddesini arttırdığı anlamlı şekilde arttırdığı söylenebilir (**Şekil 4.4**). Diğer yandan, yeşil aksam 2t/da uygulaması, uygulamalar arasında en düşük organik madde içeriğine sahiptir. Leaungvutivirog ve arkadaşları (2004) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, farklı gübreleme türlerinin (kompost, çiftlik gübresi, kimyasal gübreleme, yeşil gübreleme ve pirinç samanı uygulaması) toprakların kimyasal nitelikleri ile mısırın verimi ve kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada, kompost, çiftlik gübresi ve pirinç samanı uygulamalarının, kimyasal gübreleme ile kıyaslandığında, dört seride toprakta organik madde içeriğini arttırdığı belirtilmiştir. Diğer yandan yapılan pek çok araştırma toprak organik madde uygulamaları ile toprak organik madde havuzunun genişlemesinin yıllar aldığını göstermiştir. Başka bir ifade ile toprağı kimyasal yapısının değişmesinin uzun zaman aldığı söylenebilir.



**Şekil 4.4** Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının toprağın organik maddesine etkisi

K: Kontrol, KG: Kimyasal gübreli kontrol, A2: Doğrudan anız 2t/da, A4: Doğrudan anız 4t/da, YA2: Yeşil aksam 2t/da, YA4: Yeşil aksam 4t/da, KO2: Anız kompostu 2t/da, KO4: Anız kompostu 4t/da. Bütün değerler 5 ölçümün ortalamasıdır.

#### **4.5 Mısır Kökenli Organik Materyal Uygulamasının Toprak Azot İçeriği**

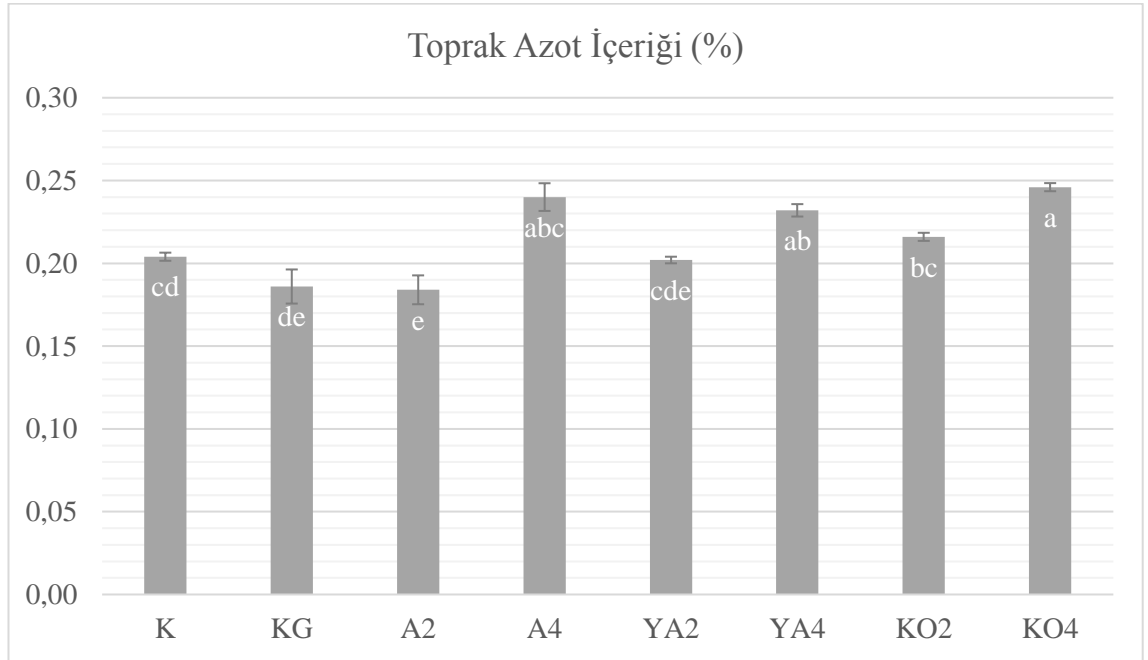
##### **Üzerindeki Etkileri**

Tarla şartlarında yetişen mısır bitkisine uygulanmış, organik materyallerin topraktaki azot içeriğine ait ortalamaların, istatistiksel analizi **Çizelge 4.5**'te ve **Şekil 4.5**'te ifade edildiği gibidir. Uygulamalar arası azot içeriği değerleri, arasında değişmekle birlikte, uygulamaların tamamı yüksek azot içeren toprak karakteri göstermektedir ancak, istatistiksel analizler bu uygulamaların farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Veriler incelendiğinde, tüm kimyasal gübreli ve mısır kökenli organik materyal uygulamalarının, kontrole kıyasla, toprağı azot bakımından zenginleştirdiği sonucuna varılmıştır. Toprağın azot içeriğini en fazla arttıran anız ve kompost uygulamalarının 2t/da dozlarıdır. Mbaj vd. (2009), yürüttükleri çalışmada, kümes hayvanı gübresi ve pirinç kabuğu tozunu organik materyal olarak toprağı uygulamışlardır. Çalışmada organik materyal uygulanmış parsellerdeki azot kapsamı, kontrole göre anlamlı derecede fazla bulunmuştur.

Çizelge 4.5 Topraktaki azot içeriğine ait ortalamaların istatistiksel analizi

| Organik Materyal  | Azot İçeriği (%)     |
|-------------------|----------------------|
| K                 | 0,21 ( $\pm 0,002$ ) |
| KG                | 0,22 ( $\pm 0,01$ )  |
| A2                | 0,22 ( $\pm 0,01$ )  |
| A4                | 0,26 ( $\pm 0,007$ ) |
| YA2               | 0,22 ( $\pm 0,005$ ) |
| YA4               | 0,25 ( $\pm 0,007$ ) |
| KO2               | 0,26 ( $\pm 0,01$ )  |
| KO4               | 0,25 ( $\pm 0,002$ ) |
| <i>F – değeri</i> | 15,696*              |

K: Kontrol, KG: Kimyasal gübreli kontrol, A2: Doğrudan anız 2t/da, A4: Doğrudan anız 4t/da, YA2: Yeşil aksam 2t/da, YA4: Yeşil aksam 4t/da, KO2: Anız kompostu 2t/da, KO4: Anız kompostu 4t/da, istatistiksel açıdan küçük harfler farklı organik materyal tipleri ve dozları arasındaki farklar;  $p < 0,05$ \*



Şekil 4.5 Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının toprağın azot içeriğine etkisi  
K: Kontrol, KG: Kimyasal gübreli kontrol, A2: Doğrudan anız 2t/da, A4: Doğrudan anız 4t/da, YA2: Yeşil aksam 2t/da, YA4: Yeşil aksam 4t/da, KO2: Anız kompostu 2t/da, KO4: Anız kompostu 4t/da. Bütün değerler 5 ölçümün ortalamasıdır.

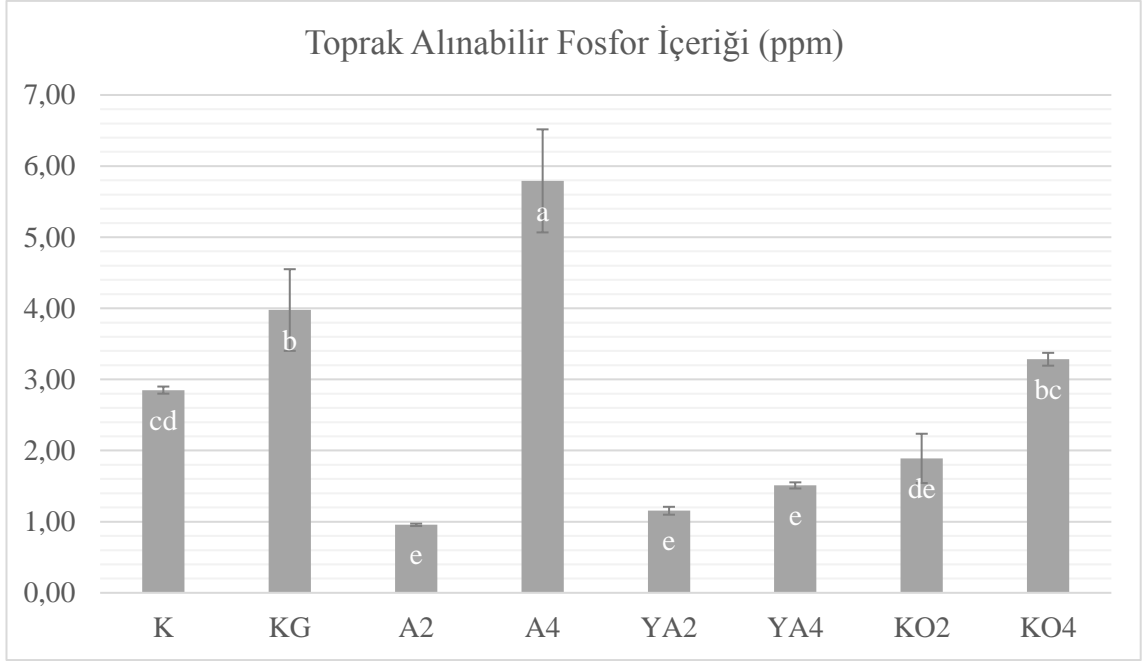
#### 4.6 Mısır Kökenli Organik Materyal Uygulamasının Toprak Fosfor İçeriği Üzerindeki Etkileri

Tarla şartlarında yetişen mısır bitkisine uygulanmış, organik materyallerin topraktaki fosfor içeriğine ait ortalamaların, istatistiksel analizi çizelge 4.6'te ve şekil 4.6'te ifade edildiği gibidir. Uygulamalar arası fosfor içeriği değerleri, 0,96-5,79 ppm arasında değişmektedir. Veriler incelendiğinde, anız 2t/da ve yeşil aksam uygulamalarının fosfor içeriğinin diğer uygulamalara göre daha düşük olduğu görülmüştür. Veriler, istatistiksel olarak analiz edildiğinde, kontrol ve kimyasal gübreli kontrole kıyasla, toprağı fosfor bakımından en fazla zenginleştiren uygulamaların anız 4t/da ve kompost 4t/da olduğu görülmüştür. Özyazıcı vd. (2010), düzenledikleri araştırmada, fındık bahçesine farklı organik gübreleme rejimleri uygulamışlardır. Klinoptiloid ve leonardit, organik ticari gübre, taze fındık zurufu ve kompost fındık zurufunun uygulandığı parsellerde fosfor içeriği en fazla olan fındık zurufunun taze uygulandığı denemedir.

Çizelge 4.6 Topraktaki alınabilir fosfor içeriğine ait ortalamaların istatistiksel analizi

| Organik Materyal  | Fosfor İçeriği (ppm) |
|-------------------|----------------------|
| K                 | 2,85 (±0,050)        |
| KG                | 3,98 (±0,574)        |
| A2                | 0,96 (±0,017)        |
| A4                | 5,79 (±0,724)        |
| YA2               | 1,15 (±0,055)        |
| YA4               | 1,51 (±0,043)        |
| KO2               | 1,89 (±0,347)        |
| KO4               | 3,28 (±0,090)        |
| <i>F – değeri</i> | 21,982*              |

K: Kontrol, KG: Kimyasal gübreli kontrol, A2: Doğrudan anız 2t/da, A4: Doğrudan anız 4t/da, YA2: Yeşil aksam 2t/da, YA4: Yeşil aksam 4t/da, KO2: Anız kompostu 2t/da, KO4: Anız kompostu 4t/da, istatistiksel açıdan küçük harfler farklı organik materyal tipleri ve dozları arasındaki farklar; p<0.05\*



**Şekil 4.6** Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının toprağın alınabilir fosfor içeriğine etkisi

K: Kontrol, KG: Kimyasal gübreli kontrol, A2: Doğrudan anız 2t/da, A4: Doğrudan anız 4t/da, YA2: Yeşil aksam 2t/da, YA4: Yeşil aksam 4t/da, KO2: Anız kompostu 2t/da, KO4: Anız kompostu 4t/da. Bütün değerler 5 ölçümün ortalamasıdır.

#### **4.7 Mısır Kökenli Organik Materyal Uygulamasının Toprak Agregat Stabilitesi**

##### **Üzerindeki Etkileri**

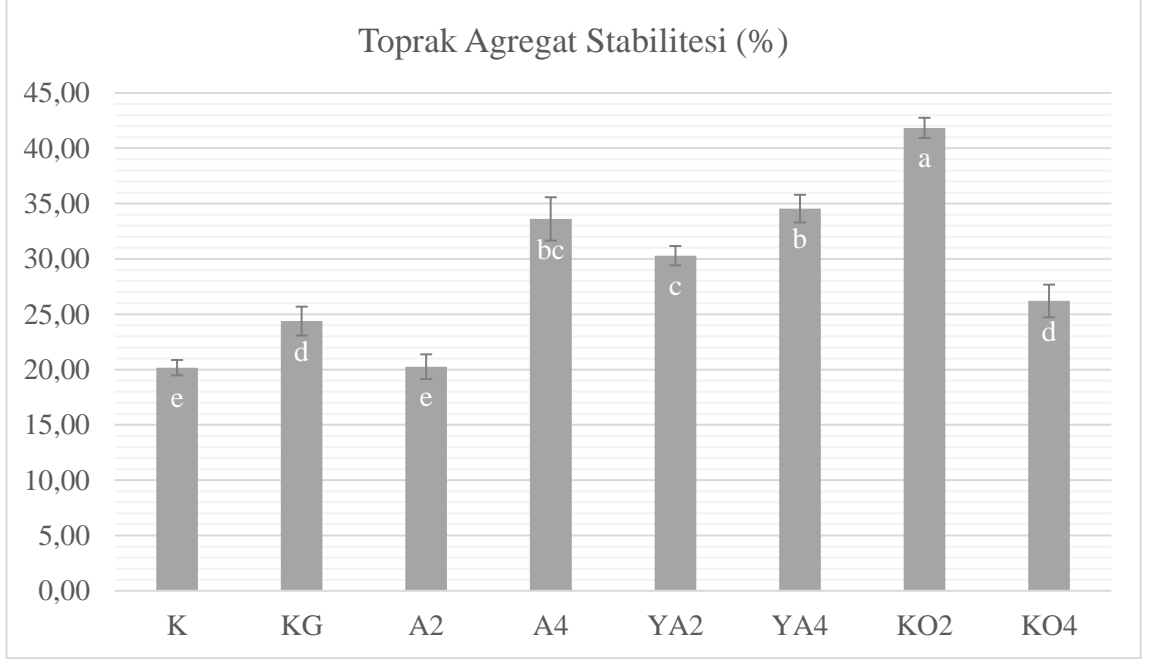
Tarla şartlarında yetişen mısır bitkisine uygulanmış organik materyallerin, topraktaki agregat stabilitesine ait ortalamaların istatistiksel analizi **Çizelge 4.7**'de ve **Şekil 4.7**'de ifade edildiği gibidir.

Çizelge 4.7 Toprağın agregat stabilitesine ait ortalamaların istatistiksel analizi

| <b>Organik Materyal</b> | <b>Agregat Stabilitesi (%)</b> |
|-------------------------|--------------------------------|
| K                       | 20,17 ( $\pm 0,69$ )           |
| KG                      | 24,38 ( $\pm 1,30$ )           |
| A2                      | 20,26 ( $\pm 1,11$ )           |
| A4                      | 33,61 ( $\pm 1,96$ )           |
| YA2                     | 30,29 ( $\pm 0,088$ )          |
| YA4                     | 34,55 ( $\pm 1,25$ )           |
| KO2                     | 41,85 ( $\pm 0,91$ )           |
| KO4                     | 26,20 ( $\pm 1,48$ )           |
| <i>F – değeri</i>       | 36,505*                        |

K: Kontrol, KG: Kimyasal gübreli kontrol, A2: Doğrudan anız 2t/da, A4: Doğrudan anız 4t/da, YA2: Yeşil aksam 2t/da, YA4: Yeşil aksam 4t/da, KO2: Anız kompostu 2t/da, KO4: Anız kompostu 4t/da, istatistiksel açıdan küçük harfler farklı organik materyal tipleri ve dozları arasındaki farklar;  $p < 0.05$ \*

Uygulamalar arası agregat stabilitesi değerleri, %20,17-41,85 arasında değişmektedir (**Çizelge 4.7**). Veriler incelendiğinde, en yüksek agregat stabilitesine sahip uygulamaların sırasıyla kompost 2t/da ve anız 4t/da uygulaması olduğu görülmüştür. Veriler, istatistiksel olarak analiz edildiğinde, toprağın agregat stabilitesini kontrol ve kimyasal gübreli kontrole kıyasla, en fazla arttıran kompost 2t/da uygulaması olmuştur. Bununla birlikte, tüm organik materyal uygulamaları, toprağın agregat stabilitesini arttırmıştır. Prasad ve Sinha (2000) tarafından yapılan bir çalışmada, en yüksek toprak agregasyonunun dengeli organik gübre ve bitkisel atık uygulamaları ile sağlandığı ve bu uygulamaların, hacim ağırlığında ve penetrasyon direncinde bir azalma oluşturduğu belirtilmiştir.



**Şekil 4.7** Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının toprağın agregat stabilitesi üzerine etkisi

K: Kontrol, KG: Kimyasal gübreli kontrol, A2: Doğrudan anız 2t/da, A4: Doğrudan anız 4t/da, YA2: Yeşil aksam 2t/da, YA4: Yeşil aksam 4t/da, KO2: Anız kompostu 2t/da, KO4: Anız kompostu 4t/da. Bütün değerler 5 ölçümün ortalamasıdır.

#### **4.8 NGS Analizi Sonucu Elde Edilen Veri Setinin Biyoenformatik Analiz Sonuçları**

Hizmet alımı sonrası elde edilen ham veri, ön işleme tabi tutulmuştur. QIIME 2 platformu içerisindeki DADA2 paketi yardımıyla ham verilerden düşük kaliteli bazlar, primerler ve düşük frekansa (okuma sıklığı) sahip diziler çıkarılmıştır. İleri ve geri okumalar birleştirilip ve birleşmeyen okumalar veriden kesilmiştir. Gürültüsü azaltılmış (denoised) veriler aşağıdaki **Çizelge 4.8**'te paylaşılmıştır.

Çizelge 4.8 Önışleme sonrası elde edilen okumalar

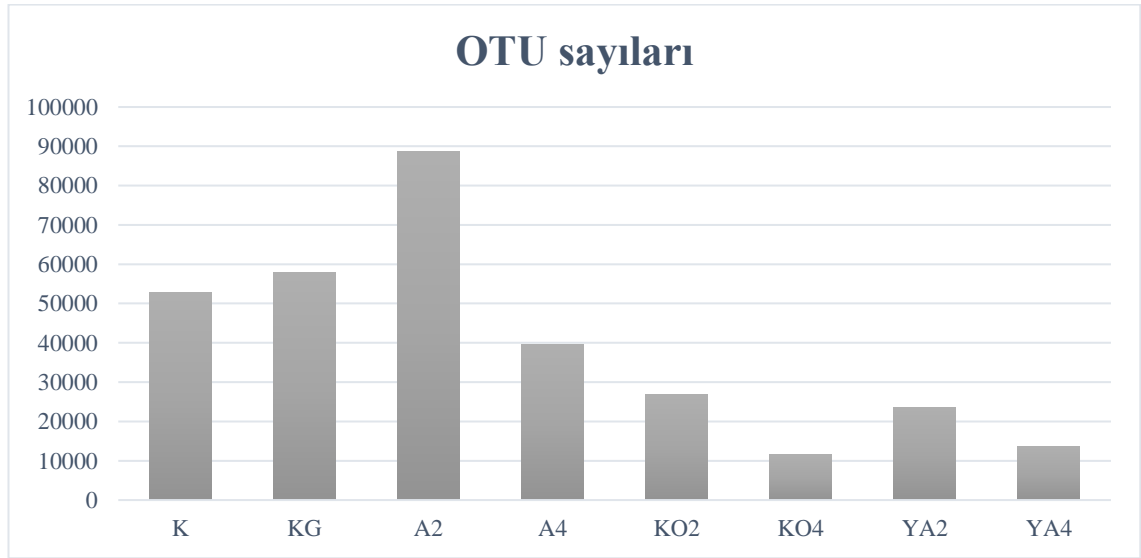
| <b>Toprak Parseli</b> | <b>Ham Veri Okumalar</b> | <b>Filtrelenen Okumalar</b> | <b>Gürültüsü Azaltılmış Okumalar</b> | <b>Birleştirilmiş Okumalar</b> | <b>Kimerik Olmayan Okumalar</b> |
|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| K                     | 85407                    | 71780                       | 69901                                | 54569                          | 52862                           |
| K                     | 69164                    | 56484                       | 54905                                | 43215                          | 42136                           |
| K                     | 73011                    | 59364                       | 57628                                | 44726                          | 43503                           |
| KG                    | 92541                    | 76537                       | 74993                                | 59516                          | 57988                           |
| KG                    | 82491                    | 67387                       | 65561                                | 51957                          | 50478                           |
| KG                    | 69750                    | 58413                       | 56833                                | 44214                          | 43005                           |
| A2                    | 138735                   | 115093                      | 113005                               | 92675                          | 88760                           |
| A2                    | 71390                    | 58727                       | 57187                                | 44672                          | 43351                           |
| A2                    | 74608                    | 63924                       | 62288                                | 49768                          | 48541                           |
| A4                    | 45792                    | 38693                       | 37556                                | 28539                          | 28029                           |
| A4                    | 62239                    | 53006                       | 51361                                | 40608                          | 39700                           |
| A4                    | 20795                    | 17807                       | 16878                                | 11841                          | 11720                           |
| KO2                   | 19338                    | 16216                       | 15422                                | 10837                          | 10693                           |
| KO2                   | 45797                    | 38413                       | 37102                                | 27682                          | 26943                           |
| KO2                   | 24948                    | 21193                       | 20101                                | 14172                          | 14051                           |
| KO4                   | 21595                    | 18041                       | 17214                                | 11871                          | 11610                           |
| KO4                   | 21192                    | 17704                       | 16761                                | 11593                          | 11526                           |
| KO4                   | 20559                    | 17559                       | 16644                                | 11696                          | 11472                           |
| YA2                   | 34259                    | 24775                       | 23867                                | 17527                          | 17284                           |
| YA2                   | 39933                    | 33372                       | 32054                                | 24247                          | 23702                           |
| YA2                   | 22642                    | 19457                       | 18657                                | 13333                          | 13178                           |
| YA4                   | 22376                    | 19210                       | 18425                                | 13808                          | 13591                           |
| YA4                   | 18299                    | 15866                       | 15119                                | 10716                          | 10648                           |
| YA4                   | 20892                    | 17091                       | 16355                                | 11755                          | 11541                           |

Gürültüsü azaltılmış okumalar incelendiğinde, kontrol parselden elde edilen verilerin %%86.7 si, YA43 parselden elde edilen verilen ise %72.32 si filtreden geçtiği görülmüştür. Ham veriden okuma sıklığı 10 ve üzeri olacak şekilde diziler çıkarılmıştır.

## 4.8 Mısır Kökenli Organik Materyal Uygulamalar Arası Toprak Bakteriyel Komünitesi Üzerinde Oluşturduğu Alfa Çeşitliliği Analizleri

### 4.8.1 Gözlenen OTU sayısı (bakteriyel zenginlik)

Tarladaki uygulamalar arasındaki bakteriyel çeşitliliğin düzeyini karşılaştırmak amacıyla alfa çeşitlilik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bakteriyel toplulukların çeşitliliği ve yapısı hakkında bilgi edinilebilmesi için ilk olarak OTU sayısı ölçümü kullanılmıştır. Sonuçlara göre anız 2t/da ve kimyasal gübreli kontrol uygulaması en yüksek OTU değerlerini göstermektedir ki en yüksek bakteriyel zenginliğin bu uygulamalara ait parsellerde olduğu anlamına gelmektedir. Yeşil aksam ve kompost uygulamaları, kontrol gruplarına göre daha düşük OTU sayısına ve bakteriyel zenginliğe sahiptir. Sonuçlar **Şekil 4.8**'de paylaşılmıştır.

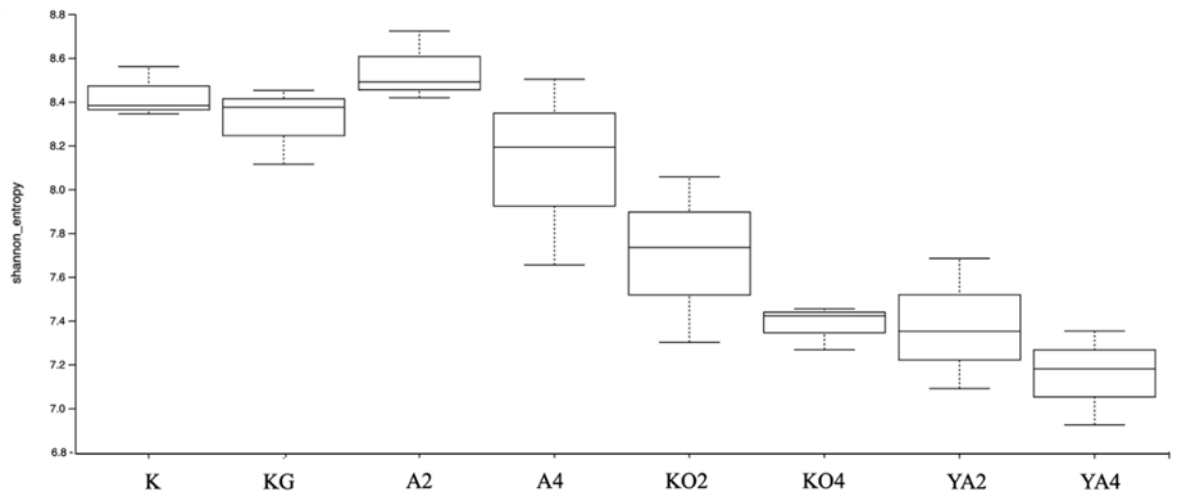


Şekil 4.8 Uygulamalar arası gözlenen OTU sayıları

K: Kontrol, KG: Kimyasal gübreli kontrol, A2: Doğrudan anız 2t/da, A4: Doğrudan anız 4t/da, YA2: Yeşil aksam 2t/da, YA4: Yeşil aksam 4t/da, KO2: Anız kompostu 2t/da, KO4: Anız kompostu 4t/da

#### 4.8.2 Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının bakteriyel komünitelerdeki çeşitlilik ve dağılıma etkisi

Uygulamalar arasındaki bakteriyel komünitelerdeki tür zenginliği ve türlerin birey sayıları arasındaki dengeli dağılımı dikkate alarak ekosistemlerin çeşitliliğini değerlendirmek amacıyla Shannon metriği kullanılmıştır. Ölçüm sonucu elde edilen veriler Kruskal-Wallis testine göre istatistiksel olarak anlamlandırılmıştır (**Şekil 4.9**). Shannon entropi değerleri dikkate alındığında, en yüksek bakteriyel çeşitliliğe ve dengeli dağılıma sahip olan anız 2t/da uygulamasıdır. Öte yandan en düşük değerlere sahip olan KO4, YA2 ve YA4 uygulamalarının bakteriyel komünitelerinin, kontrollere göre daha düşük bakteriyel çeşitliliğe ve daha dengesiz bir dağılıma sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Song vd. (2023) gerçekleştirdikleri uzun süreli tarla denemesinde, sürekli kimyasal gübrelemeden kaynaklı düşen bakteriyel zenginlik ve çeşitliliğin, parçalanmış anız ve biyokömür uygulamalarının eklenmesiyle önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir.

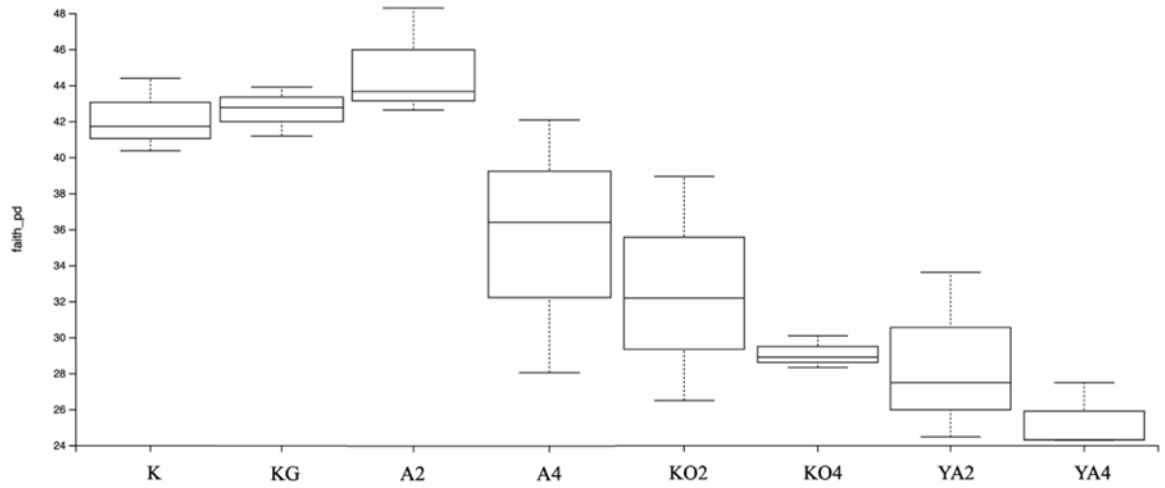


Şekil 4.9 Uygulamalar arası görülen çeşitlilik ve bakteriyel dağılımı (Shannon metriği)

K: Kontrol, KG: Kimyasal gübreli kontrol, A2: Doğrudan anız 2t/da, A4: Doğrudan anız 4t/da, YA2: Yeşil aksam 2t/da, YA4: Yeşil aksam 4t/da, KO2: Anız kompostu 2t/da, KO4: Anız kompostu 4t/da.

### 4.8.3 Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının bakteriyel komünitelerdeki filogenetik çeşitliliğe etkisi

Uygulama parsellerinde bulunan bakterilerin evrimsel çeşitliliğini analiz etmek ve toplulukta bulunan taksonlar arasındaki farklılık ve çeşitliliği değerlendirmek için Faith filogenetik çeşitlilik metriği kullanılmıştır. Ölçüm sonucu elde edilen veriler Kruskal-Wallis testine göre istatistiksel olarak anlamlandırılmıştır. Yeşil aksam (YA2 ve YA4) uygulamalarındaki bakteriyel komünitenin yapısı, diğer uygulamalara göre daha az evrimsel çeşitliliğe sahiptir. Bu uygulamalarda yaşayan komünitedeki bakterilerin genetik açıdan benzerliği diğer uygulamalara kıyasla daha fazladır. Uygulamalar arasında, kontrol ve kimyasal kontrole en yakın ve en fazla evrimsel çeşitliliğe anız 2t/da uygulaması sahiptir. Sonuçlar **Şekil 4.10**'te paylaşılmıştır.

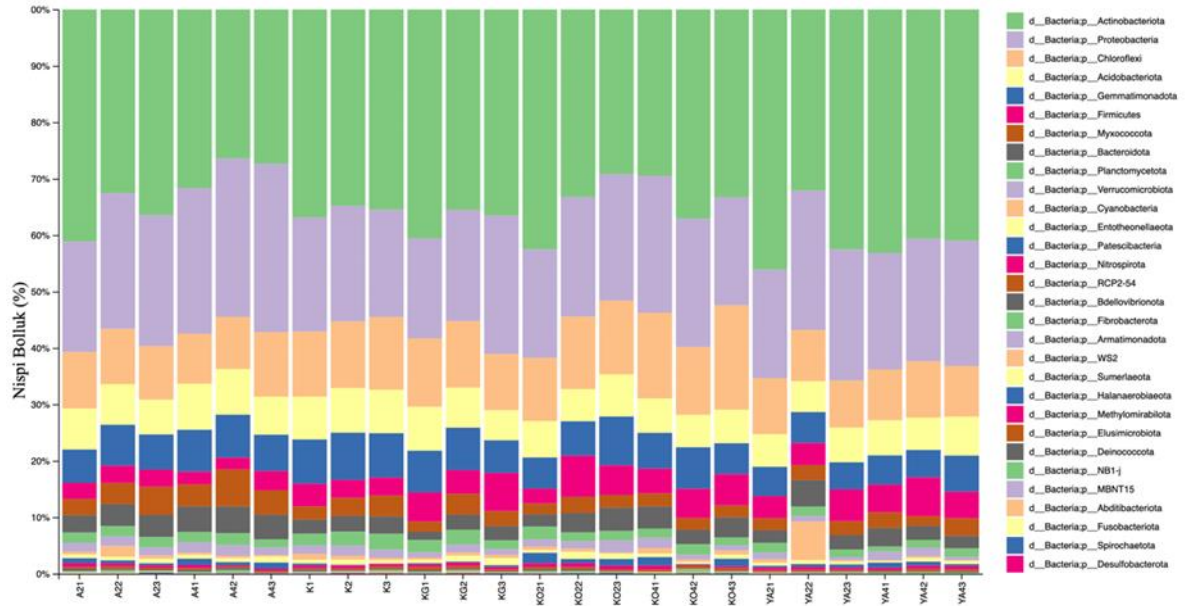


Şekil 4.10 Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının bakteriyel komünitenin filogenetik çeşitliliği üzerindeki etkisi (Faith metriği)

K: Kontrol, KG: Kimyasal gübreli kontrol, A2: Doğrudan anız 2t/da, A4: Doğrudan anız 4t/da, YA2: Yeşil aksam 2t/da, YA4: Yeşil aksam 4t/da, KO2: Anız kompostu 2t/da, KO4: Anız kompostu 4t/da.

#### **4.9 Mısır kökenli organik materyal uygulamaları koşullarında bakteriyel komünitelerin taksonomik yapısı**

Komünite yapısı ve çevresel örneklerdeki organizmaların dağılımı hakkında bilgi edinmek amacıyla NGS analizi ile elde edilen DNA dizileri, projede belirtildiği üzere SILVA referans veri tabanı ile karşılaştırılmıştır. Uygulamaların bakteriyel nispi bolluk üzerine etkisi şube düzeyinde (phylum/level 2) analiz edilmiştir (**Şekil 4.11**). Uygulamalar arasında komünitelerde en fazla bulunan şube sırasıyla Actinobacteriota, Proteobacteria ve Chloroflexi'dir. Tüm organik materyal uygulamaları, Proteobacteria ve Bacteroidota şubelerinin bolluğunu artırırken, bu şubelerin bolluğunu en fazla arttıran anız 4t/da uygulaması olmuştur. Toprağa anız ilave edildiğinde, Proteobacteria şubesi, uygulamalarda baskın duruma geçmektedir (Cong vd. 2020, Liu vd. 2021). Firmicutes şubesinin bolluğunu kompost ve yeşil aksam uygulamaları, anız ve kontrol gruplarına göre arttırmıştır. Anız uygulaması Actinobacteriota, Chloroflexi, Gemmatimonadota şubelerinin bolluğunu azaltmaktadır bunun yanı sıra Bacteroidota, Gemmatimonadetes şubelerinin bolluğunu arttırmaktadır (Song vd. 2023). Actinobacteriota şubesinin bolluğuna en fazla yeşil aksam uygulamalarının sahip olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra Cyanobacteria şubesinin bolluğunu ise anlamlı bir derecede yeşil aksam 2t/da arttırdığı görülmüştür. Yeşil aksam uygulamaları, topraktaki Chloroflexi ve Acidobacteriota şubelerinin bolluğunu, kontrole göre düşürmüştür. Kim vd. (2023), hardal ve ıspanak yeşil aksam uygulamaları yaptıkları çalışmalarında benzer sonuçlara ulaşmışlardır.

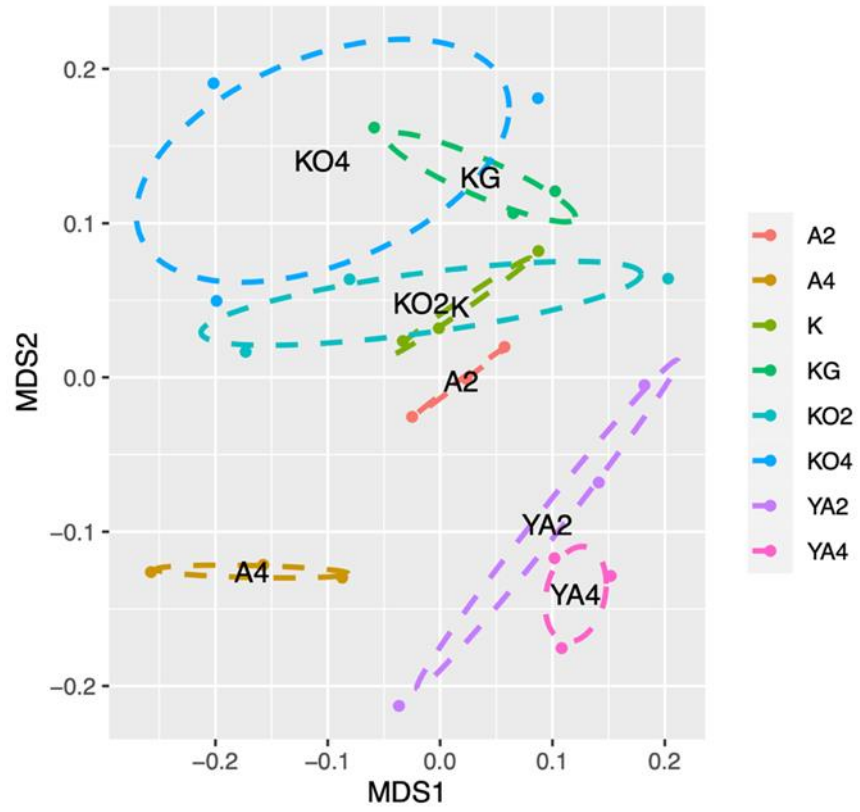


Şekil 4.11 Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının bakteriyel komünitelerindeki taksonomik yapıya etkisi (şube düzeyinde)

K: Kontrol, KG: Kimyasal gübreli kontrol, A2: Doğrudan anız 2t/da, A4: Doğrudan anız 4t/da, YA2: Yeşil aksam 2t/da, YA4: Yeşil aksam 4t/da, KO2: Anız kompostu 2t/da, KO4: Anız kompostu 4t/da. Uygulama kodlarının sonundaki 1,2,3 tarladaki tekrar sayısını ifade etmektedir.

#### 4.10 NMDS analizi

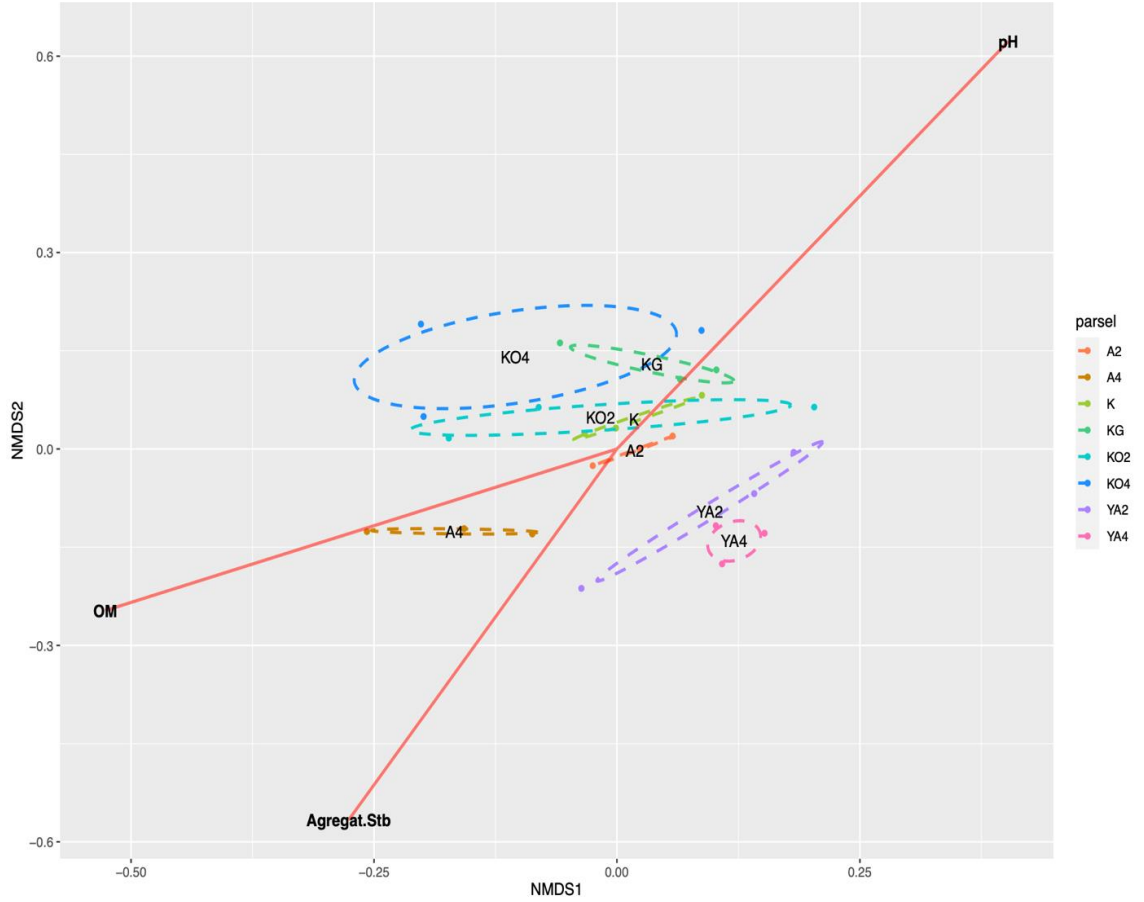
Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının toprak bakteriyel komüniteleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve bu komünitelerin benzerliklerini anlamak için NMDS (Non-Metric Multidimensional Scaling) analizi uygulanmıştır. Yapılan analizde, Bray-curtis metriği kullanılarak, bakteriyel veri setlerindeki tür varlığı ve bolluğu dikkate alınmıştır. Kontrol ve kimyasal gübreli kontrol uygulamalarına en fazla benzerlik gösteren uygulamalar anız ve kompost uygulamalarının 2t/da dozlarıdır. Bunun aksine, yeşil aksam ve anız 4t/da uygulamaları bu gruplardan daha farklı bir bakteriyel kompozisyon sergilemektedir. Sonuçlar Şekil 4.12’de ifade edilmektedir.



Şekil 4.12 Mısır kökenli organik materyal uygulamalarının toprak bakteriyel kompozisyonu üzerine etkisi (NMDS analizi)

#### 4.11 Toprak kimyasal ve fiziksel özellikleri ile bakteriyel komünite arasındaki ilişki

Mısır kökenli organik materyal uygulamalarına ait bakteriyel komüniteler ile toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi farklı veri türleri arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla, bu veri setleri R programının envfit uygulamasında bir araya getirildi.



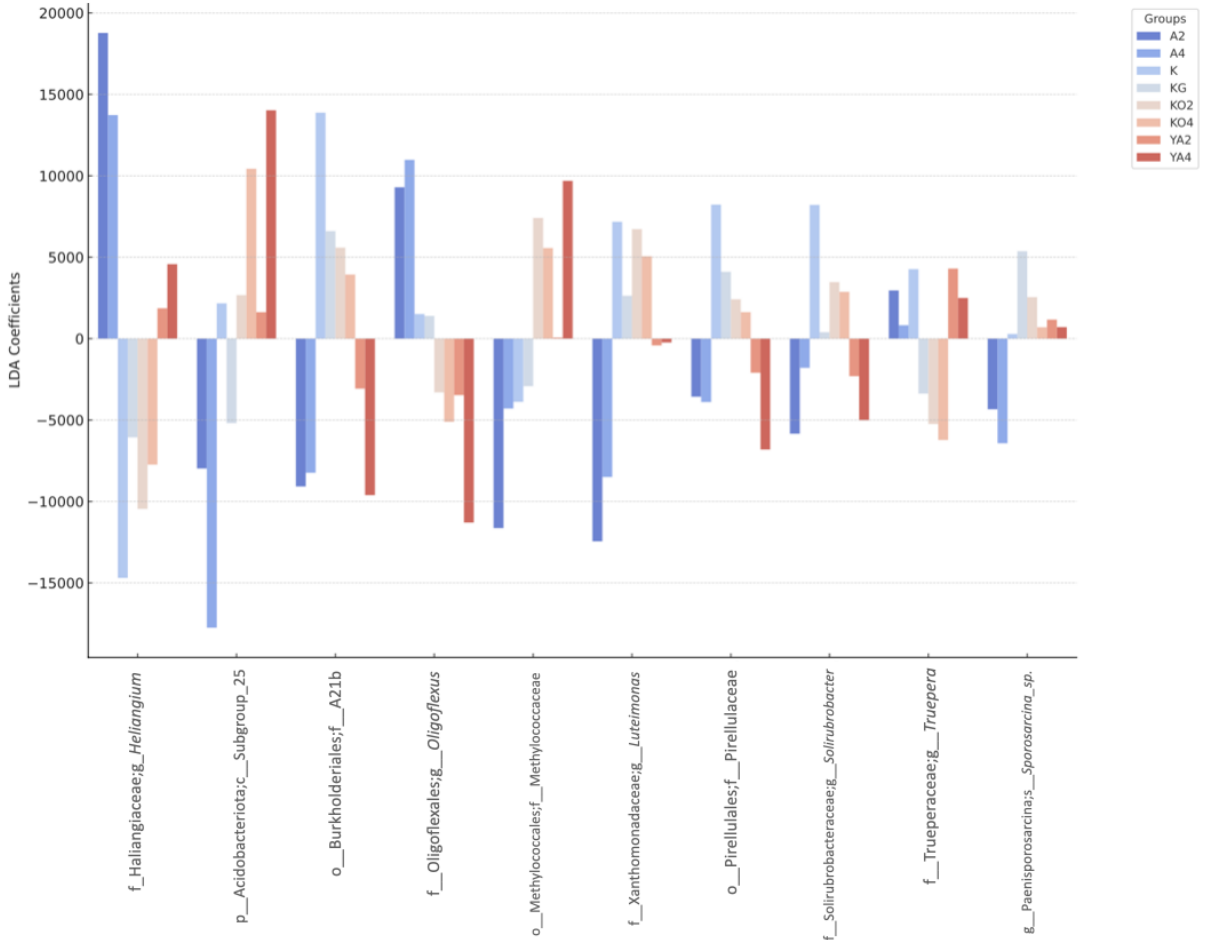
Şekil 4.13 Bakteriyel komünitenin şekillenmesinde toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin etkisi

Grafikteki vektörler, farklı toprak özelliklerini göstermektedir. Bu özelliklerden pH, organik madde ve agregat stabilitesi uygulamaların sahip olduğu bakteriyel komünitenin şekillenmesinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Şekil 4.13). Toprak organik maddesi, özellikle anız uygulamalarının bakteriyel komünitesi ile ilişkilendirilmiştir. Diğer yandan pH, kontrol, kimyasal gübreli kontrol ve kompost uygulamalarının bakteriyel komünitesinin şekillenmesinde etkilidir.

#### 4.12 LDA analizi

Uygulamalar arası, bakteriyel komünitelerin anlamlı farklılıklarını değerlendirmek için LDA (linear discriminant analysis) analizi uygulanmıştır. Kruskal-Wallis testi sonucunda

istatistiksel olarak anlamlı ( $p < 0.05$ ) toplam 68 OTU bulunmuştur. En yüksek ve en düşük LDA katsayılarına sahip 10 OTU belirlenmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 Mısır kökenli organik materyallerin toprakta bulunan bakteriyel komünite üzerindeki ayırt edici etkisi

*Haliangium* cinsinin bolluğu, kontrol, kimyasal gübreli kontrol ve kompost uygulamalarına göre, anız ve yeşil aksam uygulamalarında önemli ölçüde artmıştır. Organik materyal olarak düşük doz biyokömür uygulamasında kontrol gruplara göre *Haliangium* cinsi bakterilerin bolluğunda artış meydana geldiği görülmüştür (Li vd. 2022). Acidobacteriota şubesinin Subgroup\_25 sınıfına ait bireylerin bolluğu yeşil aksam uygulamalarında özellikle anız uygulamalarına göre oldukça fazladır. Subgroup 25 sınıfının özellikle soya fasülyesi rizosferinde bulunduğu ve toprak pH' sı ile pozitif ilişki gösterdiği bildirilmiştir (Navarette vd. 2013, Kielak vd. 2016). Burkholderiales takımına ait A21b ailesinin bolluğu, anız ve yeşil aksam uygulamalarına göre, kontrol gruplarında oldukça artmıştır. Weber vd. (2018) Burkholderiales takımının üyelerinin mısır

denemesinde, daha çok rizosfer bölgelerinde yakın kümelenmelerini bildirmiştir. *Oligoflexus* cinsi, anız uygulamalarında ayırt edici bolluğa sahiptir. Wang vd. (2022) mısır ile gerçekleştirdikleri saksı denemesinde tuz stresi altında halofit funguslar inoküle ettikleri uygulamalarda, *Oligoflexus* cinsi bakterilerin anlamlı derecede arttığını raporlamışlardır. Bu bulgulara göre *Oligoflexus*, tuz stresini azaltmada bazı fungal mikroorganizmalarla iş birliği yapabildiği anlaşılmaktadır. *Methylococcaceae* familyası bireyleri daha çok kompost ve yeşil aksam uygulamalarında yoğunlukla görülmüştür. *Methylococcaceae* familyasına ait bireyler metanotrofik organizmalardır ve organik gübreleme rejimi uygulanan bir tarla denemesinde pirinç anızı uygulaması diğer gruplara göre bu ailenin bolluğunu arttırmıştır (Wang vd. 2020). *Solirubrobacter* ile *Luteimonas* cinsi ve *Pirellulaceae* familyasına ait bakteriler diğer uygulamalara kıyasla kontrol ve kompost uygulamalarında daha fazla bulunmaktadır. *Luteimonas* cinsi bakterilerin, topraklardaki PAH (polisiklik aromatik hidrokarbonlar) degrade etme özelliği vardır, petrol kirliliği olan bir denemede, pirinç kabuğu kompostu uygulanan parsellerde bu cinsin bolluğunun arttığı rapor edilmiştir (Wu vd. 2020). *Luteimonas* aynı zamanda buğday sapı ve ahır gübresi uygulamalarının yapıldığı bir tarla denemesinde, bu uygulamalar için indikatör tür olarak bildirilmiştir (Guo vd. 2017). Hayvan gübresi uygulanan bir çalışmada, kontrol grubunda *Solirubrobacter* cinsine ait bakterilerin sayısının daha fazla olduğu bildirilmiştir (Li vd. 2023). *Truepera* cinsi, anız, yeşil aksam ve kontrol grubunda daha fazla bulunmaktadır. *Truepera* cinsine ait bireylerin organik gübreleme yapılan topraklarda kontrole göre bolluğunun daha fazla olduğu bildirilmiştir (Zheng vd. 2020). Anız uygulamaları *Sporosarcina sp.* türü bakterilerin bolluğu, kimyasal gübreli kontrolde diğer uygulamalara göre daha fazladır. Zenginleştirilmiş ürenin, biyokömür ve kompost ile birlikte uygulandığı bir inkübasyon denemesinde, *Sporosarcina* cinsine ait bakteri bolluğu hem kompost hem de biyokömür uygulamalarında artmıştır. Bu çalışma *Sporosarcina*'nın toprak ve üre arasındaki çevresel nişte kritik bir ekolojik işlevi olabileceği anlaşılmaktadır (Coelho vd. 2022).

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİ

Bu tez çalışmasında, Konya koşullarında bulunan, zorlu toprak koşullarını iyileştirmek için mısır kökenli organik materyal uygulamalarının etkisini biyolojiki kimyasal ve fiziksel açılardan incelenmektedir. Tez bulguları sonucunda toprağın fiziko-kimyasal ve mikrobiyal değişimleri incelendiğinde, uygulamaların toprak sağlığı üzerinde olumlu etkilere sahip olduğu kanıtlanmıştır.

Gerçekleşen kimyasal analizler sonucu toprağın pH'ında önemli bir değişim gözlenmemektedir. Bunun sebebi olarak, uygulama süresinin toprakta belirgin bir pH değişimine etki etmeyecek uzunlukta olmadığı düşünülmektedir. Parsellerin EC değerleri incelendiğinde, kompost 4t/da uygulamasının toprağın tuzluluğunu anlamlı bir şekilde arttırdığı gözlenmektedir. Bu durum, kompostun içeriğinde yer alan minerallerin ve tuzların toprağa geçişiyle ilişkilendirilebilir. Kireç içeriği bakımından ise en yüksek olan kontrol grubu iken organik materyal uygulamalarının tamamı kireç içeriğini anlamlı bir şekilde düşürmüştür. Bunun nedeni, organik materyallerin toprakta parçalanması sonucu oluşan organik asitlerin, kalsiyum karbonat ile reaksiyona girerek çözelti oluşturması şeklinde düşünülebilir. Anız 2t/da yeşil aksam 4t/da, kompost 4t/da ve anız 4t/da uygulamaları toprağı organik madde bakımından zenginleştirmiştir. Ancak yeşil aksamın 2t/da uygulaması en düşük organik madde içeriğine sahiptir. Düşük oranlarda yeşil aksam uygulaması toprağın organik madde seviyesini yükseltmekte etkisiz olabilir; bu, yeşil aksamın bileşimi veya parçalanma hızı gibi faktörlere dayanıyor olabilir. Ayrıca, kimyasal kontrol uygulamalarının toprak organik madde içeriğini artırmada yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir, bu da kimyasal uygulamaların toprak sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceğine işaret etmektedir.

Anız ve kompost 2t/da dozları, toprağın azot içeriğini diğer parsellere göre en fazla arttıran uygulamalardır. Bu, özellikle anız ve kompostun azotça zengin organik maddeler olmaları ve toprağa bakteriyel aktiviteyi artırarak azot döngüsünü hızlandırmaları ile ilişkilendirilebilir. Fosfor içeriği açısından ise, kontrol, anız 2t/da ve yeşil aksam uygulamaları, kimyasal gübreli kontrol, anız 4t/da, kompost uygulamalarına göre daha düşük fosfor içeriğine sahiptir. Bu durum, kimyasal gübrelerin genellikle yüksek oranda

fosfor içerdiği ve bu nedenle fosfor seviyelerini anlamlı bir şekilde yükseltebildiği anlamına gelebilir. Ayrıca, anız ve yeşil aksam uygulamalarının fosfor seviyelerini düşük olması, bu tür organik materyallerin fosfor açısından daha az zengin olduğu veya toprakta fosforun biyolojik olarak erişilebilir formunu artırmada daha az etkili oldukları anlamına gelebilir.

Toprağın agregat stabilitesi üzerinde en olumlu etkiyi anız 4t/da uygulamasının yaptığı gözlenmiştir. Bulgular, anızın toprak yapısını iyileştirecek biyo-mekanik özelliklere sahip olduğunu ve bu yüksek doz organik materyal uygulamalarında daha etkili bir şekilde çalıştığını göstermektedir. Ayrıca, tüm organik materyal uygulamalarının toprağın agregat stabilitesini anlamlı bir şekilde arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum, organik materyallerin toprak yapısını iyileştirici etkisinin genel bir özellik olduğunu ve bu tür uygulamaların, toprağı kimyasal gübrelere göre daha sürdürülebilir bir şekilde iyileştirebileceğini işaret etmektedir (Guo vd. 2017).

NGS analizi ve biyoinformatik araçlar kullanılarak, mısır kökenli organik materyal uygulamalarının toprak bakteriyel çeşitliliği üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen veriler, farklı tür ve dozlarda uygulanan mısır kökenli organik materyallerin, toprakta var olan bakteriyel toplulukları farklı şekillerde etkilediğini göstermektedir. Uygulamalar arası bakteriyel komünite yapılarını belirlemek için yapılan NMDS analizi sonuçları, kontrol, kompost ve kimyasal gübreli kontrole ait bakteriyel toplulukların yapısının benzer olduğu görülmüştür. Ancak yeşil aksam ve anız uygulamalarının bakteriyel komünite yapısı birbirinden farklılık göstermiştir. Bu bulgular, yeşil aksam ve anız uygulamalarının toprakta yer alan bakteriyel topluluklar üzerinde özgül etkilere sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Öte yandan, kontrol, kompost ve kimyasal gübre uygulamalarının benzer bakteriyel komünite profillerine yol açtığı, bu yöntemlerin toprak bakteriyel yapısında büyük değişikliklere neden olmadığı düşünülmektedir. Diğer yandan toprağın pH, organik madde ve agregat stabilitesi bakteriyel komünitenin şekillenmesinde anlamlı bir değişim oluşturmuştur. Anız uygulamaları özellikle toprak organik maddesi ve agregat stabilitesi ile güçlü bir ilişki içindedir. Anız uygulamalarının organik maddesinin diğer uygulamalara göre yüksek olduğu düşünüldüğünde, bu parsellerde gelişen bakteriler organik madde kapsamına karşı

farklı bakterilerin gelişim gösterdiği düşünülebilir. Kontrol, kimyasal gübreli kontrol ve kompost uygulamalarında ise pH'nin bakteriyel komünite yapısı üzerinde önemli bir etkisi vardır.

Metagenomik analizler sonucunda, anız 4t/da uygulaması Proteobacteria, Bacteriodota, Acidobacteria şubelerinin bolluğunu en fazla arttıran uygulama olurken, Firmicutes şubesi daha çok kompost ve yeşil aksam uygulamalarında bolluk göstermiştir. Yeşil aksam uygulamaları özellikle Actinobacteriota şubesinin bolluğuna olumlu etki yapmış, fakat Chloroflexi ve Acidobacteriota şubelerinin bolluğunu azaltmıştır. Bunun temel sebebi, bakterilerin farklı substrat ortamlarına gösterdiği stratejiler olabilir. Yeşil aksam ve kompost, anıza oranla daha hızlı ayrıştırdığından dolayı toprakta kısa süreli zengin bir karbon ortamı yaratır. Bu durum, ani kaynak mevcudiyetine pozitif tepki veren kopiotrofik bakterilerin bolluğunu arttırabilir (Ho vd. 2022). Öte yandan oligotrofik bakteriler, ortamdaki besin kaynağı mevcudiyetinin düşük olduğu zamanlarda maksimum büyüme verimliliğine ulaşırlar (Moorhead vd. 2006). Yüksek selüloz ve lignin içeriğinden dolayı anız materyalinin parçalanması, kompost ve yeşil aksama göre zor olduğundan, bu materyalin uygulandığı parsellerde genellikle oligotrofik olarak tanımlanabilecek (Acidobacteria, Deltaproteobacteria) şubelerin bolluğunu arttırırken, yeşil aksam ve kompost uygulamalar ise kopiotrofik olarak tanımlanabilecek (Firmicutes, Actinobacteria) şubelerin bolluğunu arttırmıştır.

Bu tez çalışması, problemlili toprak koşullarının iyileştirilmesinde mısır kökenli organik materyal uygulamalarının etkili olduğunu göstermektedir. Fiziko-kimyasal ve mikrobiyal değişimler, uygulamaların toprak sağlığı üzerinde olumlu etkilere sahip olduğunu onaylamaktadır. Ancak, uygulamaların tür ve dozu, elde edilecek sonuçlar üzerinde belirleyici olmaktadır. Bu nedenle, uygulama türü ve dozunun çevresel koşullar ve hedeflenen toprak iyileştirme amaçlarına uygun olarak seçilmesi önerilmektedir. Sonuç olarak bu çalışmada, kimyasal gübreyle kıyasla, doğrudan anız uygulamasının toprağın bakteriyel çeşitliliğini ve bitki besin elementlerini zenginleştirerek toprak sağlığını iyileştirdiği belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Adekiya, A. O., et al., 2020. 'Different organic manure sources and NPK fertilizer on soil chemical properties, growth, yield and quality of okra', *Scientific Reports*, 10(1), p.16083.
- Aguirre-von-Wobeser, E., et al., 2018. 'Enrichment of Verrucomicrobia, Actinobacteria and Burkholderiales drives selection of bacterial community from soil by maize roots in a traditional milpa agroecosystem', *PLoS One*, 13(12), p.e0208852.
- Ahn, J. H., Song, J., Kim, B. Y., Kim, M. S., Joa, J. H. and Weon, H. Y., 2012. 'Characterization of the bacterial and archaeal communities in rice field soils subjected to long-term fertilization practices', *Journal of Microbiology*, 50(5), pp.754-765.
- Bal, L., Şeker, C., & Gümüş, E. İ., 2011. 'Kaymak Tabakası Oluşumuna Fiziko-Kimyasal Faktörlerin Etkileri', *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 25(3), pp.96-103.
- Bouyoucos, G. J., 1951. 'A Recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soil', *Agronomy*.
- Bremner, J. M., 1965. 'Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties', Ed. A.C.A.
- Buee, M., Reich, M., Murat, C., Morin, E., Nilsson, R.H., Uroz, S. and Martin, F., 2009. '454 Pyrosequencing analyses of forest soils reveal an unexpectedly high fungal diversity', *New Phytologist*, 184, pp.449-456.
- Callahan, B. J., et al., 2016. 'DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data', *Nature Methods*, 13, pp.581–583.
- Caporaso, J. G., et al., 2010. 'QIIME allows analysis of high-throughput community sequencing data', *Nature Methods*, 7, pp.335–336.
- Ceja-Navarro, J. A., et al., 2010. 'Phylogenetic and multivariate analyses to determine the effects of different tillage and residue management practices on soil bacterial communities', *Applied and Environmental Microbiology*, 76(11), pp.3685-3691.
- Cengiz, R., Yanıkoğlu, S. & Sezer, M. C., 2010. 'Sentetik ve organik gübrelerin mısırdada (*Zea mays* L.) verim ve kaliteye etkisi', *Organik Tarım Araştırma Sonuçları 2005-2010*, T.C. Tarım ve Köyşleri Bakanlığı, pp. 213-220.
- Cesarano, G., De Filippis, F., La Stora, A., Scala, F. and Bonanomi, G., 2017. 'Organic amendment type and application frequency affect crop yields, soil fertility and microbiome composition', *Applied Soil Ecology*, 120, pp.254-264.

- Chen, Y., et al., 2017. 'Changes in bacterial community of soil induced by long-term straw returning', *Scientia Agricola*, 74, pp.349-356.
- Coelho, M. A., et al., 2022. 'Ammonia volatilization and Sporosarcina genus abundance in an Oxisol enriched with urea, compost and biochar', *Applied Soil Ecology*, 176, p.104494.
- Çağlar, K. Ö., 1958. 'Soil Science', Ankara, Turkey.
- Dincă, L. C., et al., 2022. 'Fertilization and soil microbial community: a review', *Applied Sciences*, 12(3), pp.1198.
- Doran, J.W. and Zeiss, M.R., 2000. 'Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality', *Applied Soil Ecology*, 15(1), pp.3-11.
- Drinkwater, L.E., Wagoner, P. and Sarrantonio, M., 1998. 'Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses', *Nature*, 396(6708), pp.262-265.
- Fang, M., et al., 2007. 'Assessing changes in soil microbial communities and carbon mineralization in Bt and non-Bt corn residue-amended soils', *Applied Soil Ecology*, 37(1-2), pp.150-160.
- Feng, M., Adams, J. M., Fan, K., Shi, Y., Sun, R., Wang, D., ... & Chu, H., 2018. 'Long-term fertilization influences community assembly processes of soil diazotrophs', *Soil Biology and Biochemistry*, 126, pp.151-158.
- Gondek, M., et al., 2020. 'Soluble salts in compost and their effects on soil and plants: A review', *Compost Science & Utilization*, 28(2), pp.59-75.
- Guo, J., et al., 2018. 'Bacterial rather than fungal community composition is associated with microbial activities and nutrient-use efficiencies in a paddy soil with short-term organic amendments', *Plant and Soil*, 424, pp.335-349.
- He, H.-B., et al., 2020. 'Effects of Italian ryegrass residues as green manure on soil properties and bacterial communities under an Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* L.)-rice (*Oryza sativa* L.) rotation', *Soil and Tillage Research*, 196, pp.104487.
- Ho, A., Di Lonardo, D. P. & Bodelier, P. L., 2017. 'Revisiting life strategy concepts in environmental microbial ecology', *FEMS Microbiology Ecology*, 93(3).
- Jackson, M. L., 1962. 'Soil chemical analysis constable', London.
- Kemper, W. D. & Rosenau, R. C., 1986. 'Aggregate stability and size distribution', In: *Methods of Soil Analysis, part 1. Agronomy Monographs*, 9, ed. A. Klute, American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Kielak, A. M., et al., 2016. 'The ecology of Acidobacteria: moving beyond genes and genomes', *Frontiers in Microbiology*, 7, p.744.

- Kim, R.-H., et al., 2023. 'Spinach (*Spinacia oleracea*) as green manure modifies the soil nutrients and microbiota structure for enhanced pepper productivity', *Scientific Reports*, 13(1), p.4140.
- Kumar, R., et al., 2014. 'Green manuring: a boon for sustainable agriculture and pest management-a review', *Agricultural Reviews*, 35(3).
- Kumar, U., Nayak, A. K., Shahid, M., Gupta, V. V., Panneerselvam, P., Mohanty, S., ... & Panda, B. B., 2018. 'Continuous application of inorganic and organic fertilizers over 47 years in paddy soil alters the bacterial community structure and its influence on rice production', *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 262, pp.65-75.
- Kumar, V., Sharma, A. and Prasad, R., 2019. 'Green Manuring: A Sustainable Approach in Modern Agriculture for Crop Production', In *Advances in Soil Microbiology: Recent Trends and Future Prospects*, Springer, pp.251-273.
- Leaungvutivirog, C., et al., 2004. 'Effect of Organic Fertilizer on Soil Improvement in Mab Bon, Tha Yang, Satuk and Renu Series for Corn Cultivation in Thailand', *Symposium No: 57, Paper No. 1899*.
- Lehmann, A., Zheng, W. and Rillig, M.C., 2017. 'Soil biota contributions to soil aggregation', *Nature Ecology & Evolution*, 1(12), pp.1828-1835.
- Leininger, S., Urich, T. and Schloter, M., 2006. 'Archaea predominate among ammonia-oxidizing prokaryotes in soils', *Nature*, 442, pp.806–809.
- Li, P., et al., 2021. 'Different regulation of soil structure and resource chemistry under animal-and plant-derived organic fertilizers changed soil bacterial communities', *Applied Soil Ecology*, 165, pp.104020.
- Li, T., et al., 2023. 'Effects of organic fertilizer on soil properties and soil microorganisms', *Journal of Biotech Research*, 15, pp.138-150.
- Li, X., et al., 2022. 'Biochar fertilization effects on soil bacterial community and soil phosphorus forms depends on the application rate', *Science of The Total Environment*, 843, p.157022.
- Luo, G., Li, L., Friman, V. P., Guo, J., Guo, S., Shen, Q., & Ling, N., 2018. 'Organic amendments increase crop yields by improving microbe-mediated soil functioning of agroecosystems: A meta-analysis', *Soil Biology and Biochemistry*, 124, pp.105-115.
- MGM, 2018. Available at: [<https://www.mgm.gov.tr>](<https://www.mgm.gov.tr>).
- Moorhead, D. L., & Sinsabaugh, R. L., 2006. 'A theoretical model of litter decay and microbial interaction', *Ecological Monographs*, 76, pp.151–74.

- Navarrete, A. A., et al., 2013. 'Acidobacterial community responses to agricultural management of soybean in Amazon forest soils', *FEMS Microbiology Ecology*, 83(3), pp.607-621.
- Navarro-Noya, Y. E., et al., 2013. 'Relative impacts of tillage, residue management and crop-rotation on soil bacterial communities in a semi-arid agroecosystem', *Soil Biology and Biochemistry*, 65, pp.86-95.
- Olsen, S. R., et al., 1954. 'Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate', U.S. Dept of Agric. Circ. 939.
- Özyazıcı, G., et al., 2011. 'Bazı organik materyallerin ve toprak düzenleyicilerin organik fındık yetiştiriciliğinde verim ve toprak özellikleri üzerine etkileri'.
- Prasad, B. & Sinha, S. K., 2000. 'Long-Term Effects of Fertilizer and Organic Manures on Crop Yields, Nutrient Balance and Soil Properties in Rice-Wheat Cropping System in Bihar', in *Long-Term Soil Fertility Experiments in Rice-Wheat Cropping Systems*, Rice-Wheat Consortium Paper Series 6, New Delhi, India, pp. 105-119.
- Richards, L. A., 1954. 'Diagnosis and improvement of saline and alkali soils', U.S. Dept. Agr. Handbook 60.
- Romero-Salas, E. A., et al., 2021. 'Changes in the bacterial community structure in soil under conventional and conservation practices throughout a complete maize (*Zea mays* L.) crop cycle', *Applied Soil Ecology*, 157, pp.103733.
- Shu, X., He, J., Zhou, Z., Xia, L., Hu, Y., Zhang, Y., ... & Wang, C., 2022. 'Organic amendments enhance soil microbial diversity, microbial functionality and crop yields: A meta-analysis', *Science of The Total Environment*, 829, pp.154627.
- Siedt, M., et al., 2021. 'Comparing straw, compost, and biochar regarding their suitability as agricultural soil amendments to affect soil structure, nutrient leaching, microbial communities, and the fate of pesticides', *Science of the Total Environment*, 751, pp.141607.
- Soil Survey Manual, 1951. 'U.S. Dept. Agr. Handbook No. 18', Washington.
- Song, T., et al., 2023. 'Microbial community and network differently reshaped by crushed straw or biochar incorporation and associated with nitrogen fertilizer level', *GCB Bioenergy*, 15(10), pp. 1255-1272.
- Sönmez, B. and Özbahçe, A., 2018. 'Türkiye Topraklarının Bazı Verimlilik ve Organik Karbon İçeriğinin Coğrafi Veritabanının Oluşturulması', TAGEM/TSKAD/11/A13/P03.
- Suleiman, A. K. A., et al., 2018. 'Recycling organic residues in agriculture impacts soil-borne microbial community structure, function and N<sub>2</sub>O emissions', *Science of the Total Environment*, 631, pp.1089-1099.

- Şeker, C. and Karakaplan, S., 1999. 'Relationships of Modulus of Rupture to Soil Properties in Konya Plain', Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23(2), pp.183-190.
- Tamer, N., et al., 2016. 'Organik toprak düzenleyicilerin toprak parametreleri ve ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) bitkisinin verim ve verim öğeleri üzerine etkileri', Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi, 4(1), pp. 11-20.
- Tao, J., et al., 2017. 'Maize growth responses to soil microbes and soil properties after fertilization with different green manures', Applied Microbiology and Biotechnology, 101, pp.1289-1299.
- Usman, S., Muhammad, Y. and Chiroman, A.M., 2016. 'Roles of soil biota and biodiversity in soil environment – A concise communication', Eurasian Journal of Soil Science, 5(4), pp.255-265.
- Uz, I. & Tavali, I. E., 2014. 'Short-term effect of vermicompost application on biological properties of an alkaline soil with high lime content from Mediterranean region of Turkey', The Scientific World Journal, 2014.
- Wagg, C., Bender, S. F., Widmer, F. and van der Heijden, M. G., 2014. 'Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality', Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(14), pp.5266-5270.
- Wang, H., et al., 2020. 'Long-term no-tillage and different residue amounts alter soil microbial community composition and increase the risk of maize root rot in northeast China', Soil and Tillage Research, 196, pp.104452.
- Wang, P.-X., et al., 2020. 'Manure amendment increased the abundance of methanogens and methanotrophs but suppressed the type I methanotrophs in rice paddies', Environmental Science and Pollution Research, 27, pp. 8016-8027
- Wang, Y., et al., 2022. 'Suaeda salsa root-associated microorganisms could effectively improve maize growth and resistance under salt stress', Microbiology Spectrum, 10(4), p. e01349-22.
- Wu, M., et al., 2020. 'Effect of compost amendment and bioaugmentation on PAH degradation and microbial community shifting in petroleum-contaminated soil', Chemosphere, 256, p. 126998.
- Xu, J., et al., 2020. 'Organic amendments change soil organic C structure and microbial community but not total organic matter on sub-decadal scales', Soil Biology and Biochemistry, 150, pp.107986.
- Zhao, C., et al., 2020. 'Comparing the effects of biochar and straw amendment on soil carbon pools and bacterial community structure in degraded soil', Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 20, pp.751-760.

Zheng, X., et al., 2020. 'Effects of a novel bio-organic fertilizer on the composition of rhizobacterial communities and bacterial wilt outbreak in a continuously mono-cropped tomato field', *Applied Soil Ecology*, 156, p. 103717.