



SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI FORMLARDAKİ MISIR
ATIKLARININ TOPRAĞIN FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Ayşe ÇETİN

DOKTORA TEZİ

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Temmuz-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Ayşe ÇETİN

22/07/2025

ÖZET

DOKTORA TEZİ

FARKLI FORMLARDAKİ MISIR ATIKLARININ TOPRAĞIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Ayşe ÇETİN

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

Danışman: Prof. Dr. Cevdet ŞEKER

2025, 126 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Cevdet ŞEKER
Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖZAYTEKİN
Doç. Dr. Sevim Seda YAMAÇ
Doç. Dr. Hamza NEGİŞ
Dr. Öğr. Üyesi Emel ATMACA

Toprak organik maddesi, toprağın fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mekaniksel özelliklerini doğrudan etkileyerek bitki gelişimi üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Toprakların düşük olan organik madde içeriklerinin artırılması ile bir taraftan toprakların bozuk olan özellikleri iyileştirirken diğer taraftan da toprakların bozulmaya karşı dirençleri artırılmaktadır. Aynı zamanda toprakların karbon depolaması sağlanarak ekosistemin sürdürülebilirliğine katkı sağlanmaktadır. Bu çalışmada, ülkemizde birçok bölgede yetiştiriciliği yapılan mısır bitkisinin farklı biyokütleri kullanılmıştır. Mısır yetiştiriciliğinde hasat sonrası geride kalan hasat artıklarının toprağa geri kazandırılarak toprak organik madde miktarı desteklenmektedir. Yüksek biyokütle üretim potansiyeline sahip olan mısır bitkisinin yeşil aksamının toprak düzenleyici ve/veya iyileştirici olarak ilk defa kullanılmıştır. Bu amaçla mısır biyokütlesinin üç farklı formu (kompost, mısır anızı ve mısır yeşil aksamı (silajı)) toprak düzenleyici maddeler olarak kullanılmıştır. Çalışmada, silajlık mısır ve arpa yetiştiriciliğinin yapıldığı iki farklı dönemi kapsamaktadır. Çalışmada, 0-20 cm toprak derinliğine, üç farklı formda mısır biyokütlerinin 1, 2 ve 4 ton da⁻¹ dozlarının, dört paralelli olarak tesadüf blokları deneme tertibinde uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte, toprakların pH, EC, likit limit, plastik limit, plastiklik indeksi, tarla trafiği olan (sıkışmış alanlardan) ve olmayan (sıkışmamış alanlarda) alanlarda ayrı ayrı su tutma eğrileri, tarla kapasitesi(TK), solma noktası(SN), faydalı su kapasitesi (FSK), gözeneklilik (P), hava dolu gözenekler (HDG), hacim ağırlığı (Pb), penetrasyon direnci (PD), sınırlayıcı su aralığı (SSA), doymun koşullardaki hidrolik iletkenlik (Ks), bitki kök yaş ve kuru biyokütlesi parametreleri detaylı olarak incelenmiştir. Elde edilen veriler ışığında yapılan analizlerde hem uygulanan mısır artığı çeşidi hem de doz seviyeleri açısından istatistiksel olarak önemli farklılıklar gözlenmiştir. Özellikle 4 ton da⁻¹ dozunda yapılan uygulamalar, toprak özelliklerini geliştirme bakımından daha etkili olurken, bu dozda uygulanan kompost materyali, diğer uygulama türlerine kıyasla daha belirgin iyileştirici etkiler göstermiştir. İlk yıl mısır üretiminde 4 ton da⁻¹ kompost uygulamasında bitki yaş kök ağırlığında kontrole göre %129.2, 4 ton da⁻¹ anız uygulamasında kontrole göre kuru ağırlıkta %100.8 artışlar, arpa üretim döneminde anızın ve kompostun 4 ton da⁻¹ uygulamalarında kontrole göre sırasıyla; kuru ağırlığında %21.3 ve %45.8 artışlar ölçülmüştür. Likit limit değerinde kontrole kıyasla en fazla artış ilk yıl %10.96 ile anız 4 ton da⁻¹, ikinci yıl %6.2 ile yeşil aksam 4 ton da⁻¹ uygulamalarında belirlenmiştir. Pb değeri ilk yıl ölçümlerinde sırası ile sıkışmış ve sıkışmamış alanda kontrole göre %6.95 yeşil aksam 4 ton da⁻¹ uygulamasında, %13.72 kompost 4 ton da⁻¹ uygulamasında, ikinci yıl %14.03 kompost 4 ton da⁻¹ uygulamasında, %12.84 anız 4 ton da⁻¹ uygulamasında azalmıştır. Ks değeri kontrole kıyasla en çok ilk yıl %66.03 kompost 4 ton da⁻¹ uygulaması, ikinci yıl %63 anız 4 ton da⁻¹ uygulaması ile artış göstermiştir. Sırası ile kompost, anız ve yeşil aksam uygulamaları, toprağın su tutma kapasitesini artırmış, su iletkenliğini iyileştirmiş ve sıkışma direncini azaltarak SSA değerlerini artırmıştır. Böylece, tarımsal verimliliğin

artırılmasının yanı sıra, toprak sağlığının sürdürülebilirliği açısından da olumlu sonuçlar ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Anız, kompost, organik madde, penetrasyon direnci, sınırlandırılmış su aralığı, mısır yeşil aksamı



ABSTRACT

Ph.D THESIS

IMPACT OF DIFFERENT FORMS OF CORN BIOMASS ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES

Ayşe ÇETİN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN AGRICULTURE ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Cevdet ŞEKER

2025, 126 Pages

Jury

Prof. Dr. Cevdet ŞEKER

Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖZAYTEKİN

Doç. Dr. Sevim Seda YAMAÇ

Doç. Dr. Hamza NEGİŞ

Assist. Prof. Dr. Emel ATMACA

Soil organic matter plays a decisive role in plant growth by directly affecting the soil's physical, chemical, biological, and mechanical properties. Increasing soil organic matter content, which is low, improves soil deterioration while also increasing its resistance to degradation. It also contributes to ecosystem sustainability by ensuring soil carbon storage. This study used different biomasses from maize, a plant grown in many regions of our country. In maize cultivation, post-harvest residue is recycled back into the soil to support soil organic matter levels. Another significant aspect of the study is the use, for the first time, of the green parts of maize, which has high biomass production potential, as a soil conditioner and/or amendment. For this purpose, three different forms of maize biomass (compost, maize straw, and maize green parts (silage)) were used as organic soil amendments. The study covers two different periods of silage maize and barley cultivation. In the study, three different forms of maize biomass were applied at 1, 2, and 4 of the maize da^{-1} at 0-20 cm soil depth in a randomized block design with four parallel plots. During this process, soil pH, EC, liquid limit, plastic limit, plasticity index, water retention curves, field capacity (TK), wilting point (SN), available water capacity (FSK), porosity (P), air-filled pores (HDG), bulk density (Pb), penetration resistance (PD), least limiting water range (LLWR), hydraulic conductivity (K) under saturated conditions, and plant root fresh and dry biomass were examined in detail. Analyzes based on the obtained data revealed statistically significant differences in both the type of maize waste applied and the dose levels. Applications at a dose of 4 t da^{-1} were particularly effective in improving soil properties, and compost material applied at this dose demonstrated more significant remedial effects compared to other application types. In the first year of maize production, plant fresh root weight increased by 129.2% compared to the control with the 4 t da^{-1} compost application, and dry weight increased by 100.8% compared to the control with the 4 t da^{-1} straw application. During the barley production period, dry weight increases of 21.3% and 45.8% were measured in the straw and compost applications, respectively, compared to the control. The highest increases in liquid limit values compared to the control were observed in the straw application at 4 t da^{-1} (10.96%) in the first year, and in the green parts application at 4 t da^{-1} (6.2%) in the second year. Pb values decreased by 6.95% in the first year with the 4 t da^{-1} green parts application, 13.72% in the 4 t da^{-1} compost application, and 12.84% in the 4 t da^{-1} straw application

in the second year, respectively, in the compacted and uncompacted areas compared to the control. Ks values increased the most compared to the control with 66.03% in the first year with the 4 t da⁻¹ compost application, and 63% in the 4 t da⁻¹ straw application in the second year. Compost, straw, and green parts applications, respectively, increased soil water holding capacity, improved water conductivity, and reduced compaction resistance, thus increasing LLWR values. Thus, in addition to increasing agricultural productivity, positive results were also demonstrated in terms of the sustainability of soil health.

Keywords: Compost, maize green parts, least limiting water range, maize green parts, organic matter, penetration resistance, straw



ÖNSÖZ

Doktora tez konusunun belirlenmesinde ve çalışmanın yürütülüp sonuçlanması esnasında, çalışmalarına yön veren, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bana her türlü desteği sağlayan danışman sayın Prof. Dr. Cevdet ŞEKER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca lisans, yüksek lisans ve doktora öğrenimim boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan çalışmamın arazi aşamasında ve laboratuvarında bilgi ve deneyimi ile yardım ve desteğini esirgemeyen, önerileri ile çalışmama yön veren Dr. Öğr. Üyesi Vildan ERCİ, Doç. Dr. İlknur GÜMÜŞ hocalarıma ve değerli jüri üyeleri Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖZAYTEKİN, Doç. Dr. Sevim Seda YAMAÇ, Doç. Dr. Hamza NEGİŞ ve Dr. Öğr. Üyesi Emel ATMACA hocalarıma sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca tezimin yoğun çalışma gerektiği dönemlerden biri olan açık arazi ve laboratuvar çalışmalarına yardımcı olan dostlarım Zir. Yük. Müh. Betül GÜL KÜÇÜKDÖNMEZER, Arş. Gör. Raziye KOÇKESEN, Dr. Noel MANİRAKIZA ve Zir. Müh. Mehmet KAYMAKCI ve ismini saymadığım diğer tüm ekip arkadaşlarıma içten teşekkürlerimi sunarım. Bu zorlu süreçte yardım ve desteklerini esirgemeyen, kıymetli hocalarım Doç. Dr. Murat ÇINARLI ve Öğr. Gör. Büşra AYDIN'a sonsuz teşekkür ederim. Son olarak, tüm hayatım boyunca yanımda olan ve çalışmalarımın her aşamasında imzaları olan ve benden maddi manevi her türlü desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve beni attığım her adımda asla yalnız bırakmayan annem, babam, kardeşlerim ve yeğenim İkra'ya sonsuz teşekkür ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından ülkemizin öncelikli alanlarında doktoralı insan kaynağına olan ihtiyacını karşılamak üzere başlatmış olduğu YÖK 100/2000 doktora projesinin sürdürülebilir tarım tematik alanında yer almaktan duyduğum mutluluğu dile getirmek isterim. Ayrıca bu proje kapsamında burs desteği veren YÖK'e teşekkür ederim.

Ayşe ÇETİN
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Sürdürülebilir Tarımsal Uygulamalar	4
2.2. Tarım Topraklarının Fiziksel Özelliklerine Organik Maddenin Etkisi	5
2.3. Tarımsal Artıkların Toprak Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi	10
2.3.1. Tarımsal artıkların küresel potansiyeli	10
2.3.2. Ülkemizdeki tarımsal artıkların potansiyeli.....	11
2.3.3. Tarımsal artıkların değerlendirildiği alanlar	11
2.4. Tarımsal Artıkların Toprak Düzenleyici Olarak Kullanımı	12
2.5. Tarımsal Atıkların Toprakların Fiziksel Özelliklerine Etkisi	14
2.5.1. Tarımsal atıkların toprak sıkışmasına etkisi	15
2.5.2. Tarımsal atıkların sınırlandırılmış su aralığına etkisi	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	22
3.1. Çalışmada Kullanılmış Organik Materyaller	22
3.2. Kompostlama Prosedürü	22
3.3. Çalışma Alanı ve Yöntem.....	24
3.4. Laboratuvar Çalışmalarında Yapılmış Analiz ve Yöntemleri	27
3.4.1. Fiziksel analizler	27
3.4.2. Kimyasal analizler	31
3.4.3. Bitkilerde yapılan analizler	32
3.4.4. Mısır ve Arpa üretiminde tarla trafiği oluşturulması	32
3.5. İstatistiksel Analizler	34
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	35
4.1. Uygulanan Materyallerin Arazinin pH Değerine Etkisi	35
4.2. Uygulanan Materyallerin Arazinin EC Değerine Etkisi	36
4.3. Uygulamaların Mısır ve Arpa Bitkisinin Kök Yaş Ağırlığı ve Kök Kuru Ağırlıklarına Etkileri	39
4.3.1. Mısır kök biyokütlesi	39
4.3.2. Arpa kök biyokütlesi.....	40
4.4. Uygulamaların Atterberg Kıvam Limitlerine Etkisi	42
4.4.1. Uygulamaların likit limit değerine etkileri	43

4.4.2. Uygulamaların plastik limit değerine etkileri	44
4.4.3. Uygulamaların plastiklik indeksi değerine etkisi.....	46
4.5. Uygulamaların Mısır ve Arpa Yetiştiriciliğinde Hacim Ağırlığına (Pb) Etkisi... 48	
4.5.1. Mısır yetiştiriciliği döneminde sıkışmış ve sıkışmamış alanlarda Pb etkisi . 48	
4.5.2. Arpa yetiştiriciliği döneminde sıkışmış ve sıkışmamış alanlarda Pb etkisi.. 50	
4.6. Uygulamaların Mısır ve Arpa Yetiştiriciliğinde Dozlara Göre Gözenekliliğe (P) Etkisi	53
4.6.1. Mısır yetiştiriciliği döneminde sıkışmış ve sıkışmamış alanlarda P etkisi ... 53	
4.6.2. Arpa yetiştiriciliği döneminde sıkışmış ve sıkışmamış alanlarda P etkisi.... 55	
4.7. Uygulamaların Hava Dolu Gözenekliliğe (HDG) Etkisi.....	57
4.7.1. Mısır yetiştiriciliği döneminde sıkışmış ve sıkışmamış alanlarda HDG etkisi	57
4.7.2. Arpa yetiştiriciliği döneminde sıkışmış ve sıkışmamış alanlarda HDG etkisi	59
4.8. Uygulamaların Sınırlandırılmış Su Aralığına (SSA) Etkisi.....	61
4.8.1. Mısır yetiştiriciliği döneminde sıkışmış ve sıkışmamış alanlarda SSA değerlendirilmesi	61
4.8.2. Arpa yetiştiriciliği döneminde sıkışmış ve sıkışmamış alanlarda SSA değerlendirilmesi	64
4.9. Uygulamaların Rutubet Karakteristik Eğrisine (RKE) Etkisi.....	68
4.10. Uygulamaların Penetrasyon Direncine (PD) Etkisi	75
4.11. Uygulamaların Hidrolik İletkenlik Değerine (K) Etkisi	89
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR	94
EKLER	102
ÖZGEÇMİŞ	115

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Pb: Hacim Ağırlığı
Pk: Zerre Yoğunluğu
Pw: Gravimetrik Nem
Θ : Hacimsel Nem
pF: Toprak Nem Tansiyonu
P: Gözeneklilik
Ph: Hava Dolu Gözeneklilik
Ks: Hidrolik İletkenlik
da: Dekar
g: Gram
mg: Miligram
ml: Mililitre
°C: Santigrat Derece
sn: Saniye
dk: Dakika
t: Ton

Kısaltmalar

TK: Tarla Kapasitesi
SN: Solma Noktası
FSK: Faydalı Su Kapasitesi
EC: Elektriki İletkenlik
OM: Organik Madde
HDG: Hava Dolu Gözenekler
PD: Penetrasyon Direnci
SSA: Sınırlayıcı Su Aralığı
TH: Toplam Hacim

1. GİRİŞ

Türkiye, sahip olduğu geniş ekolojik çeşitlilik ve verimli tarım arazileriyle tarımsal üretim açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Ancak son yıllarda artan iklim değişikliği etkileri, toprakların verimliliğini tehdit etmekte, gıda güvenliğini riske sokmakta ve insan beslenmesi üzerinde ciddi baskılar oluşturmaktadır.

Küresel ısınmaya bağlı olarak değişen yağış rejimleri, kuraklık, aşırı değişken hava olayları ve toprak erozyonu gibi etkenler, Türkiye’de başta İç Anadolu Bölgesi olmak üzere diğer bölgelerde tarımsal üretimi ve organik madde dengesini bozarak tarımsal üretim dinamiklerini olumsuz etkilemektedir. Bu durum, birçok temel besin ürününün üretim miktarında dalgalanmalara neden olmakta, yerel ve ulusal düzeyde beslenme güvenliğini zayıflatmaktadır (Selçuk ve Gülümser, 2023).

Toprağın üretkenliğini artırmak, yetiştirilen ürünlerden maksimum verim elde etmek için yetiştirme ortamının fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin uygun koşullarda olması gerekmektedir. Bu özelliklerin iyileştirilmesinde başvurulan yöntemlerin başında toprak organik madde varlığının artırılması gelmektedir (Shirani ve ark., 2002).

Ülkemiz topraklarının önemli bir kısmı organik madde açısından fakirdir. Özellikle Orta Anadolu bölge topraklarının %90’nının organik madde içerikleri %2’nin ve yer yer %1’in altına düştüğü yapılan çalışmalarda belirlenmiştir (Gezgin ve Er, 2001). Toprak organik maddesinin artırılması hem sürdürülebilir tarım hem de iklim değişikliğiyle mücadele açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, bitki artıklarının geri kazandırılması ve organik gübreleme yöntemlerinin yaygınlaştırılması sürdürülebilir tarım için kilit stratejilerden biridir. Özellikle ülkemizde tarımı yaygın bir şekilde yapılan ve yüksek biyokütle üretim potansiyeline sahip olan mısır (*Zea mays L.*) bitkisinin, tarımı sonrası geride kalan biyokütlesinin toprak sağlığını iyileştirici bir unsur olarak kullanılması araştırılmıştır. Mısır, özellikle yeşil aksamı bakımından zengin bir bitki olması nedeniyle, hasat sonrası geride kalan anız, yaprak, sap ve diğer artıklar toprak için önemli bir organik madde kaynağı teşkil etmektedir. Ancak bu artıklar çoğu zaman tarlada yakılarak uzaklaştırılmaktadır. Yakılan artıkların hasat sonu imhası yerine değerli bir organik madde kaynağı olarak toprağa geri kazandırılması gerekmektedir.

Toprağa kazandırılan hasat sonu artıkları, toprak sağlığının iyileştirilmesine önemli katkılar sağlayacaktır. Mısır atıkları, toprak yapısını destekleyerek toprağın

gözeneklilik, su tutma kapasitesi ve mikrobiyal aktivite gibi özelliklerin iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır (Rodrigues ve ark., 2022; Yu ve ark., 2024).

Mısır kalıntılarının erozyon ve sıkışmaya karşı sağladığı fiziksel koruma, daha iyi su infiltrasyonunu teşvik ettiği ve yüzey akışını azalttığı için özellikle toprak bozulmasına eğilimli bölgelerde faydalıdır (Punyalve ve ark., 2018). Buna ek olarak, mısır artıklarının uzun süre muhafaza edilmesinin sera gazı emisyonlarını azalttığı ve topraklarda karbon birikimini artırdığı, böylece iklim değişikliğini azaltma çabalarına katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir (Gao ve ark., 2021).

Toprak sıkışması, toprak gözenekliliğinin azalmasına, kök gelişiminin kısıtlanmasına ve su-infiltrasyonunun düşmesine neden olan önemli bir toprak bozulma biçimidir. Bu durum, hem suyun hem de hava değişiminin sınırlanmasına yol açarak bitki gelişimini olumsuz etkiler (Hamza ve Anderson, 2005). Sıkışmış topraklarda, köklerin derinlere inmesi zorlaşır, bu da bitki su alımını ve besin maddesi kullanımını sınırlandırmaktadır (Zhu ve ark., 2024). Organik madde toprağın fiziksel yapısını güçlendirerek gözenekliliği artırır, agregat stabilitesini iyileştirir ve sıkışmaya karşı direnci artırır (Pagliai ve ark., 2004; Blanco-Canqui ve Lal, 2009).

Toprak sıkışması ve toprak su içeriği ile toprağın fiziksel koşulları arasındaki etkileşimi değerlendirmek amacıyla kullanılan önemli bir parametre ise sınırlayıcı su aralığıdır (SSA). SSA, toprakta bitki büyümesini sınırlamayan optimum su içeriği aralığını tanımlar ve bu aralık su temini, hava değişimi ve penetrasyon direnci gibi faktörlerin bitki gelişimini engellemediği koşulları temsil eder (da Silva ve Kay, 1997). Toprak sıkışması SSA'yı daraltarak bitki gelişimi için uygun su-hava dengesini bozarken, organik madde uygulamaları bu aralığı genişleterek bitki kökleri için daha elverişli bir ortam yaratır (Negiş ve ark., 2020).

Bu tez çalışması, mısır atıklarının farklı formlarının toprağa uygulanmasının, fiziksel toprak özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemeyi amaçlamıştır. Bu bağlamda yapılan çalışmada üç farklı mısır biyokütlesi kullanılarak toprağa organik karbon kazandırılması ile birlikte toprağın fiziksel özelliklerinin yanında bitki gelişiminin sınırlandığı sınırlayıcı su aralığı ve bunu kısıtlayan özelliklerin araştırılarak çözülmesi çalışmaya özgünlük katmıştır. Elde edilen bulgular, hem Konya gibi tarımsal üretim açısından stratejik öneme sahip alanlarda hem de genel olarak sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesinde kullanılabilecek bilimsel verilere katkı sağlayacaktır.

Genel olarak bu çalışmada, mısır bitkisinin hasat sonrasında kalan artıklarının toprağa geri kazandırılması yoluyla toprak organik madde içeriğinin desteklenmesi

hedeflenmiş, ayrıca mısırın farklı biyokütle formlarının (kompost, mısır anızı ve mısırın yeşil aksamı/silajı) toprak yapısına etkileri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Özellikle mısırın yeşil aksamının doğrudan toprak düzenleyici veya iyileştirici materyal olarak kullanılması, literatür de daha önce pek ele alınmamış olup, bu yönüyle çalışmanın bilimsel katkı potansiyeli oldukça yüksektir. Mısır atıklarının toprak özellikleri üzerindeki çok yönlü etkilerinin anlaşılması, sürdürülebilirliği ve toprağın korunmasını teşvik eden etkili tarımsal uygulamaların geliştirilmesi için gereklidir. Bu bağlamda yapılan bu tez çalışması, farklı mısır atığı formlarının, sınırlandırılmış su içeriği, gözeneklilik, su tutma kapasitesi ve genel toprak yapısı dahil olmak üzere toprağın bazı fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlamaktadır.

Sonuç olarak, tarımsal üretim sürecinde oluşan mısır biyokütlesinin değerlendirilmesi, atık yönetimi, toprak kalitesinin iyileştirilmesi ve sürdürülebilir tarım sistemlerinin inşası açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Bu çalışma, ülkemizde yaygın şekilde tarımı yapılan mısır bitkisinin hasat sonrası artıklarının, verimli ve çevre dostu bir şekilde yeniden değerlendirilerek toprağa kazandırılabilceğini göstermesi açısından önemli bir katkı sunmaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Sürdürülebilir Tarımsal Uygulamalar

Tarımsal uygulamalar ve çevresel faktörler arasındaki etkileşim karmaşıktır. Tarımsal arazi sistemi hem doğal süreçlerden hem de sosyo-ekonomik gelişmelerden etkilenmektedir ve bu da farklı bölgelerde farklı yoğunluklarda arazi kullanımına yol açabilmektedir (Yu ve ark., 2020). Bu nedenle, artan gıda talebini karşılama ve gelecekteki iklim değişikliğini hafifletme gibi ikili faydalara ulaşmak için bir ön koşul olan ekili alanların organik madde (OM) miktarının artırılması mevcut yöntemlerimizin dışında geliştirmemiz gereken acil durumlardan biridir (Paustian ve ark., 1997; Lal, 2004).

Topraktaki OM'nin sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi, gıda güvenliğini sağlamayı, iklim değişikliğini en az olumsuz çevresel etkiyle azaltmayı ve uyum sağlamayı amaçlayan iklim dostu tarıma ulaşmak için birincil araç olabilir (Bai ve ark., 2019; Branca ve ark., 2021).

Tarımsal üretim, toprak sağlığı ve küresel gıda güvenliği açısından toprak işleme yöntemleri kritik öneme sahiptir. Geleneksel pullukla işleme, bitki gelişimi için uygun ortam oluştursa da ağır makinelerin tekrar eden kullanımı toprak sıkışmasına yol açar. Bu sıkışma kök gelişimini engeller, toprak havalanmasını ve su tutma kapasitesini düşürür, ayrıca toprak organik karbon kaybına neden olarak verimi azaltır. Modern tarımda, toprak işleme yoğunluğunu azaltmak, toprak yapısını korumak, organik karbonu muhafaza etmek ve maliyetleri düşürmek için önemlidir. Azaltılmış işleme yöntemleri, toprak gözenekliliğini, sıcaklık ve nem dengesini iyileştirirken, toprak organizmalarına zarar vermeyi azaltır ve karbon tutulumunu artırarak iklim değişikliğiyle mücadeleye katkı sağlar (Orzech ve ark., 2025).

Sonuç olarak, dünya genelinde tarım arazilerinin durumu kentleşme, iklim değişikliği ve ekonomik baskılar nedeniyle önemli bir tehdit altındadır. Daha iyi yönetim ve teknolojik yenilikler yoluyla tarımsal verimliliğin artırılması için fırsatlar olsa da hem tarımsal verimliliği hem de çevresel bütünlüğü koruyan sürdürülebilir uygulamalara duyulan ihtiyaç kritik önem taşımaktadır. Tarım arazilerinin geleceği, bu zorlukların politika, inovasyon ve toplum katılımı yoluyla ne kadar etkili bir şekilde ele alınacağına bağlı olacaktır.

2.2. Tarım Topraklarının Fiziksel Özelliklerine Organik Maddenin Etkisi

Temel olarak ayrışmış bitki ve hayvan artıklarından oluşan OM, toprak yapısının korunmasında, besin kullanılabilirliğinin artırılmasında ve su tutma kapasitesinin iyileştirilmesinde hayati bir rol oynamaktadır (Fageria, 2012; Imran, 2018). Ancak tarımsal uygulamalar, özellikle de yoğun tarım yapılan alanlarda, dünya genelinde toprak OM seviyelerinde önemli bir düşüşe yol açmıştır. Bu düşüş, toprak verimliliğinin azalmasına, erozyonun artmasına ve tarımsal verimin düşmesine neden olmaktadır (Bhatt ve ark., 2019). Sürdürülebilir olmayan tarımsal uygulamalar nedeniyle OM'daki düşüş, toprak sağlığı ve gıda güvenliği için önemli riskler oluşturmaktadır. Bununla birlikte, korumalı toprak işleme, organik katkılar ve agroekolojik uygulamaların hayata geçirilmesi, OM seviyelerini artırmak ve sürdürülebilir tarım sistemlerini teşvik etmek için uygulanabilir çözümler sunmaktadır. Tarım topraklarında azalan OM durumu için çeşitli çözümler önerilmiştir. Etkili yaklaşımlardan biri, toprak bozulmasını en aza indiren ve Cm'nin tutulmasını teşvik eden korumalı toprak işleme uygulamalarının benimsenmesidir (Shokati, 2014). Araştırmalar, toprak işlemsiz sistemlerin toprak organik karbon seviyelerini önemli ölçüde artırabileceğini ve genel toprak verimliliğini iyileştirebileceğini göstermiştir (Shokati, 2014).

Araştırmalar, OM kaybının toprak yapısını bozan ve organik karbonun oksidasyonuna yol açan geleneksel toprak işleme uygulamalarıyla daha da arttığını göstermektedir (Shokati, 2014). Yoğun tarım yapılması ile organik kalıntıların uzaklaştırılması ve toprak yapısının bozulması nedeniyle toprak organik karbonunda %30-50 oranında kayba neden olabileceği yapılan bir çalışmada belirtilmektedir (Aleinkovienė ve ark., 2017). Ayrıca, düşük OM içeriğine sahip topraklar sıkışmaya ve erozyona karşı daha hassas olmaları nedeniyle verimliliklerinde düşüş meydana gelebilir (Fageria, 2012; Imran, 2018).

Tarımsal artıkların kompostlanması toprağı temel besin maddeleriyle zenginleştirerek verimliliği artırır ve sağlıklı bitki büyümesini teşvik eder. Kompost uygulaması, bitkisel üretim için kritik olan azot, fosfor ve potasyum gibi makro besin maddelerinin kullanılabilirliğini artırabilir (Pane ve ark., 2016). Kompost ilavesi, agregat stabilitesini ve gözenekliliği artırarak toprak yapısını iyileştirir. Bu durum, kök gelişimi ve genel bitki sağlığı için gerekli olan daha iyi su tutma ve havalandırmaya yol açmaktadır (Jagadabhi ve ark., 2019). Tarımsal artıkların kompostlaştırılması, bu malzemelerin yakılması veya çöpe atılmasıyla ilişkili çevresel etkileri azaltır. Sera gazı emisyonlarının

azaltılmasına yardımcı olur ve besin maddelerini tarım sistemine geri dönüştürerek döngüsel bir ekonomiyi teşvik eder (Martínez-Mendoza ve ark., 2024). Tarımsal artıkların kompost olarak kullanılması, sentetik gübre ihtiyacını azaltarak çiftçiler için maliyet tasarrufu sağlayabilir.

Dalzell (1987) kompostlamanın,

a) uzun vadeli yapısal stabiliteyi,

b) toprağın nem tutma özelliğini ve

c) bitki besin maddelerinin tedarikini artırarak toprak verimliliği seviyesini yükselterek tarımsal üretimi artırmak için en önemli ve ödüllendirici yöntem olduğunu bildirmiştir. Tarımsal artıkların kompostlanması küresel ısınma potansiyelinin azalmasına ve mevcut organik olmayan ürünlerin kullanımının azaltılmasına yol açabileceği çalışma da ayrıca bildirilmiştir. Bu durum, tarımsal kimyasalların ve gübrelerin üretiminin azaltılmasına dolayısıyla sera gazı emisyonlarının da paralel olarak giderek azalacağını göstermektedir.

Kompostun kireçtaşı madenciliği sonrası toprak üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada; 10 t ha⁻¹ kompost uygulamasının toprak gözenekliliğinde ve besin kullanılabilirliğinde önemli ölçüde iyileştirmelere neden olduğu bildirilmiştir. Dolayısıyla, çalışma kompostun bozulmuş topraklarda restorasyon çalışmalarındaki önemini göstermiştir (Ghaida ve ark., 2020).

Çeşitli organik materyallerin (kompost, biyokömür, hayvan gübresi gibi) toprak yapısı, sıkışma derecesi ve toprakta sınırlayıcı su aralığı üzerindeki etkilerinin değerlendirildiği bir çalışmada; Sonuçlar, organik materyallerin toprakta gözenek yapısını iyileştirerek sıkışmayı azalttığını ve toprak neminin bitki tarafından kullanılabilir aralığını genişlettiğini göstermiştir. Organik madde ilavesi, toprak hacim ağırlığını düşürerek su ve hava geçirgenliğini artırmakta, böylece kök gelişimi için daha elverişli ortam sağlamaktadır. Ayrıca, organik materyallerin toprak su tutma kapasitesini artırması, bitkilerin su stresine karşı dayanıklılığını artırmakta ve verim kayıplarını azaltmaktadır. Çalışma, sürdürülebilir toprak yönetimi için organik materyallerin toprak sıkışmasını önlemede ve su yönetimini optimize etmede etkili bir yöntem olduğunu vurgulamaktadır (Negiş ve ark., 2020).

Sürdürülebilir arazi yönetiminde alternatif olarak ürün rotasyonu ile ekim nöbeti ve örtü bitkilerinin kullanımı da yer almaktadır; bunlar sadece OM girdilerini artırmakla kalmaz, aynı zamanda biyoçeşitliliği ve ekosistem direncini de geliştirir (Whitmore ve ark., 2015; Bellè ve ark., 2022). Tarım arazisinin OM depolama oranı esas olarak tarımsal

artıklar biçimindeki C girdileri ile mikrobiyal solunumdan gelen çıktılar arasındaki denge tarafından belirlenmektedir (Paustian ve ark., 1997; Davidson ve Janssens, 2006). C girdileri ve çıktılardaki bu denge, değişen iklim, arazi kullanımı ve çeşitli tarımsal yönetim uygulamaları tarafından etkilenmektedir (Davidson ve Janssens, 2006; Regnier ve ark., 2022). Sıcaklık, yağış, sıcak hava dalgası gibi durumlar tarım arazisi verimliliğini azaltır ve mikrobiyal aktiviteyi uyarır, bu da toprak organik karbon kaybına neden olabilir (Lobell ve Asseng, 2017; Tian ve ark., 2018).

Örtü bitkileri, kompost ve yeşil gübre gibi OM'yi artıran uygulamaların toprak sağlığını iyileştirdiği ve toprak OM seviyelerini artırdığını göstermiştir (Chaudhry ve ark., 2012). Ayrıca, biyokömürün toprak iyileştirici olarak kullanımı, karbonu tutma ve toprak özelliklerini iyileştirme potansiyeli nedeniyle de bu anlamda oldukça dikkat çekicidir (Bellè ve ark., 2022).

Tuzluluğun dinamik doğasını anlayabilmek ve tuzlu toprakların verimliliğini yeniden inşa edebilmek amacıyla tuzlu toprakta beş uygulama (1.Önerilen NPK gübresi, 2. Kimyasal gübre, 3. Pirinç samanı kompostu, 4.alçıtaşı ile zenginleştirilmiş kompost ve 5.belediye katı atık kompostu) ve bir kontrol (hiçbir katkı maddesi ve kimyasal gübre olmayan) olacak şekilde uygulama yapılmış olup deneme 3 ardışık yıl boyunca takip edilmiştir. Sonuç olarak çalışma, kompost ve kimyasal gübre uygulamalarının kontrole kıyasla toprak organik karbon, toprak agregat kararlılık endeksi, toprak su tutma kapasitesi, hidrolik iletkenliği ve partikül boyut dağılımı üzerine önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Dolayısı ile kompost uygulamalarının kimyasal gübre kullanımının önüne geçebileceği çalışma ile vurgu yapılmıştır. Ayrıca çalışma da toprak fiziksel özelliklerinde meydana gelen iyileşmelerin yanı sıra toprak tuzluluğunda da önemli düzeyde bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir (Meena ve ark., 2022).

Muz artıkları temelli bir ürün elde edilen bir çalışmada; bu ürünün mısırın büyümesi, beslenmesi ve toprak özellikleri üzerindeki etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Topraklara yapılan uygulamada muz artığı ve çiftlik gübresi sırasıyla belirtilen dozlarda 0+100, 50+50, 60+40 ve 70+30 uygulanmıştır ve ayrıca kontrol grubuna yer verilmiştir. Test ürünü olarak mısır kullanılan çalışmada deneme üç tekrarlı tesadüfi tam blok tasarımına göre planlanmıştır. Muz artıklarının çiftlik gübresi ile birlikte kompostlanması ve toprağa uygulanması sonucunda, topraklardaki C: N oranının bireysel uygulamalara kıyasla daralttığı, besin konsantrasyonunu ve mısırın büyümesini ve toprağın verimliliğini arttırdığı çalışma ile vurgulanmıştır. Fiziksel görünüm ve özelliklere dayanarak, dört farklı uygulama kombinasyonu eşit olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma sonucunda, mısırın verimini ve beslenmesini iyileştirmek için muz kalıntısının çiftlik gübresi ile faydalı bir şekilde kompostlaştırılabileceği bildirilmiştir (Virk ve ark., 2021).

Yapılan bir başka çalışma da evsel katı atık kompostu ve yeşil gübre topraklara uygulanarak deneme tesadüfi tam blok deseni, dokuz uygulama ve üç tekrarlama ile yürütülmüştür. Deneme sonucunda evsel atık kompostu ve yeşil gübre uygulaması, OM'yi etkileyerek, C:N oranını ve toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini artırmıştır. Dolayısıyla bu sayede toprak besin maddesi içeriğinde, kullanılabilirliğinde ve alımında artış gözlemlenmiştir (Sarker ve ark., 2023).

Castelli ve ark.'ı (2022) tarafından yapılan bir çalışmada killi toprağa kompost uygulamasının toprak fiziksel özellikleri üzerine olan etkileri değerlendirilmiştir. Toprağa 15 t ha⁻¹ kompost uygulamasının toprak hidrolik iletkenlik ve toprak yapısında önemli gelişmelere neden olduğunu gözlemlenmiştir. Ayrıca toprak verimliliğinde meydana getirdiği artıştan dolayı topraklara kompost uygulanmasının rolüne vurgu yapılmıştır.

Akpınar (2018) yapmış olduğu çalışmada organik gübrelerin mısır bitkisinin büyüme performansı ve besin elementi alımı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Araştırmada, çeşitli organik gübre türlerinin (kompost, hayvan gübresi, yeşil gübre vb.) uygulanmasının mısırın kök ve sürgün gelişimini olumlu yönde etkilediği, bitkinin özellikle azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) alımını artırdığı belirlenmiştir. Organik gübre uygulamalarının toprak yapısını iyileştirerek su tutma kapasitesini artırdığı ve toprak mikroorganizmalarının faaliyetlerini desteklediği vurgulanmıştır. Sonuçlar, organik gübrelerin bitki besin elementlerinin dengeli alımını sağlayarak mısır veriminde artışa yol açtığını göstermiştir. Çalışma, sürdürülebilir tarım uygulamalarında organik gübre kullanımının bitki gelişimi ve toprak sağlığı açısından önemli bir strateji olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, organik gübrelerin hem çevresel hem de ekonomik açıdan avantaj sağladığını desteklemekte ve modern tarımda kimyasal gübrelerin kullanımının azaltılmasına katkı sunmaktadır.

Mishra ve ark. (2023) tarafından yapılan bir çalışma pirinç artıklarından elde edilen yeşil aksamın toprak organik ve enzimatik özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Yeşil aksam uygulamasının 5 t ha⁻¹ uygulama dozunun kontrol parsellerine kıyasla 0-15 cm toprak derinliğinde organik karbon içeriğinde %6,3'lük bir artışa neden olduğu belirlenmiştir. Çalışma ayrıca sürekli yeşil gübre uygulamasının toprak

mikrobiyal popülasyonunu ve genel toprak sağlığını geliştireceği yönünde vurgu yapmaktadır.

Buğdayda azot kullanım verimliliğini artırmak için yeşil aksam uygulamasına odaklanmıştır. 4 t ha⁻¹ yeşil aksam uygulamasının kontrole kıyasla, toprak organik karbon seviyesini %14'ten %24'e çıkararak toprak verimliliğini ve ürün büyüme performansını önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir (Muhammad ve ark., 2022).

Yapılan bir araştırmada Atlantik Ormanları bölgesinde toprağın fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesinde yeşil aksam uygulamasının rolü tartışılmaktadır. Çalışma, yapılan uygulamaların doz artışına paralel olarak bitki örtüsünde artışa neden olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, yeterli bitki örtüsünün erozyonu azalttığını ve toprakta su tutulmasını artırdığını çalışma ile vurgulamaktadır (Moraes de Oliveira Pinto ve ark., 2023).

Doğu Amazon'daki doğal ormanda gerçekleştirilen deneysel bir dizi orman kızak geçişinin, kil açısından zengin bir Ferralsol üzerinde toprak sıkışmasını nasıl etkilediğini incelemiştir. Araştırma, sadece ıslak koşullarda 25 cm derinliğe kadar belirgin izlerin oluştuğunu ve toprak yoğunluğunun arttığını göstermektedir. Başlangıçta düşük olan toprak hacim ağırlığını, dokuz geçiş sonrasında ıslak toprakta 1.05 g/cm³'e, kuru toprakta ise 0.92 g/cm³'e yükselmiştir. Ayrıca, hidrolik iletkenlikteki azalmanın, toprak makro yapısının bozulmasıyla ilişkili olduğu görülmüştür (Schack-Kirchner ve ark., 2007).

Kara ve ark. (2022) çalışmasında, kumlu-tınlı topraklarda farklı OM uygulamaları toprak nemi ve suyun hareketi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Organik düzenleyiciler, toprak partiküllerinin suyu daha iyi tutmasını sağlayarak nem içeriğini artırmakta ve hidrolik iletkenliği değiştirmektedir. Örneğin, kanalizasyon çamurunun arıtılması ile elde edilen biyokatı gübre gibi materyaller suyun buharlaşmasını azaltıp nemin uzun süre korunmasını sağlarken, hidrolik iletkenliği düşürerek su hareketini kısıtlayabilir. Ayrıca, OM toprak yapısını iyileştirerek suyun dengeli ve etkin tutulmasına yardımcı olur. Ancak bazı katkıların toprak tuzluluğunu artırarak bitkilerin su kullanımını zorlaştırabileceği de belirtilmiştir. Çalışma, organik düzenleyicilerin toprak su yönetimi ve bitki su stresi üzerindeki etkilerini anlamada önemli bilgiler sunmakta ve sürdürülebilir tarımda OM su tutma kapasitesini artırarak verimliliği destekleyebileceğini göstermektedir.

2.3. Tarımsal Artıkların Toprak Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi

Tarımsal üretimden kaynaklanan bitkisel ve hayvansal atıklar hem enerji kaynağı olarak değerlendirilebilmekte hem de toprak sağlığının korunmasına katkı sağlayan OM kaynağı olarak işlev görmektedir. Türkiye’de geniş tarım alanları ve çeşitli iklim koşulları, özellikle buğday, mısır, pamuk gibi başlıca ürünlerden elde edilen tarımsal atıkların biyokütle enerjisi potansiyelini artırmaktadır. Ancak, bu kaynakların büyük bölümü henüz etkin şekilde kullanılmamakta, çoğunlukla tarlada yakılmakta veya atık olarak kalmaktadır.

Türkiye'deki tarımsal artıkların potansiyeli, ülkenin çeşitlilik gösteren tarımsal yapısı ve çeşitli ürünlerden elde edilen artıkların hacmi göz önüne alındığında oldukça önemlidir. Ürün artıkları, işlemeden kaynaklanan yan ürünler ve hayvansal atıklar, enerji üretimi, toprağın iyileştirilmesi ve çeşitli endüstriler için hammadde olarak kullanılabilir.

2.3.1. Tarımsal artıkların küresel potansiyeli

Belirli ürünlerin tarımsal artıklara olan katkıları dikkat çekicidir. Örneğin, mısır, buğday ve pirinç artıkları toplam tarımsal biyokütlenin sırasıyla yaklaşık %27.2, %21.9 ve %26.7'sini oluşturmaktadır (Lozano ve Lozano, 2018). Bu durum, tarımsal bitki kütesinin önemli bir kısmının hasattan sonra tarlalarda kaldığını ve biyoenerji üretimi de dahil olmak üzere çeşitli uygulamalar için kullanılabileceğini göstermektedir. Bu kalıntılardan biyoenerji üretme potansiyeli özellikle umut vericidir ve tahminler, uygun şekilde kullanılmaları halinde küresel enerji taleplerinin önemli bir kısmını karşılayabileceklerini göstermektedir (Searle ve Malins, 2015). Ayrıca, bu kalıntıların değerlendirilmesi, atmosfere zararlı kirleticiler salan yaygın bir uygulama olan açık yakmayı önleyerek sera gazı emisyonlarının azaltılmasına da yardımcı olabilir (Yakupoğlu ve ark., 2022).

Tarımsal atıkların başka kullanım alanı toprak düzenleyicisi olarak farklı formlarda topraklara dahil edilebilmesidir. Bu durumun başlıca faydalarından biri toprak verimliliğinin artırılmasıdır. Araştırmalar, tarımsal artıklardan elde edilen kompost ve biyokömür gibi organik artık girdilerinin toprak OM'sini önemli ölçüde artırabildiğini göstermektedir (Gamal ve ark., 2024). Örneğin, biyokömür uygulaması sadece toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda besin döngüsü için çok önemli olan mikrobiyal aktiviteyi de artırır (Pathy ve ark., 2020). Ayrıca çalışmalar,

organik artıkları ayrıştırmak için solucanların kullanıldığı bir süreç olan vermikompostlamanın toprak yapısında ve besin içeriğinde önemli iyileşmelere yol açabileceğini ve tarımsal artıkların geri dönüşümü için etkili bir yöntem olduğunu da göstermektedir (Saha ve ark., 2024).

2.3.2. Ülkemizdeki tarımsal artıkların potansiyeli

Türkiye'deki bitkisel atık miktarı yaklaşık 62.206.754 ton/yıl olup, bu miktarın 46.279.245 ton/yıl'ı tarla bitkileri, 4.038.114 ton/yıl'ı bahçe bitkileri ve 11.889.396 ton/yıl'ı sebze bitkilerinden oluşmakta (BEPA, 2021). Burada yaklaşık yıllık 7.000.000 tonu mısır atıkları ortaya çıkmaktadır. Ayrıca gerek orman gerek peyzaj alanlar ve gerekse meyve bahçelerinde ortaya çıkan budama artıkları da yüksek artık potansiyeline sahip olup, yaklaşık 4.000.000 ton/yıl budama artıkları ve 5.000.000 m³/yıl orman atıkları açığa çıkmaktadır.

Yapılan bazı çalışmalar buğday, mısır ve fındık gibi ürünlerden elde edilen artıkların enerji üretimi için etkin bir şekilde kullanılabilmesini vurgulamıştır (Bahadıroğlu ve ark., 2022). Örneğin, Türkiye küresel fındık üretiminin yaklaşık %70-75'inden sorumludur ve bu işlemde elde edilen kabuklar değerli enerji kaynaklarına dönüştürülebilir (Uzuner ve ark., 2017).

2.3.3. Tarımsal artıkların değerlendirildiği alanlar

Tarımsal artıkları değerlendirmek için sürdürülebilirliği ve enerji üretimini artırabilecek birçok etkili yöntem bulunmaktadır (Almomani, 2020). Bunlardan bazıları;

Biyogaz Üretimi: Biyogaz, atık arıtma ve enerji geri kazanımı gibi özellikleri nedeniyle yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak büyük ilgi görmüştür. Anaerobik sindirim (AD) süreci, organik atıkların biogaza, esas olarak metan (CH₄) ve karbondioksit (CO₂) içeren bir gaz karışımına dönüştürülmesinde kritik bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır (Angelidaki ve ark., 2018; Valenti ve ark., 2018). Tarımsal artıkların hayvan gübresi ile sindirilmesi metan üretimini önemli ölçüde artırabilir. Örneğin, inek gübresinin %30 tarımsal atık ile karıştırılması metan verimini %16 oranında artırabilir (Akyürek, 2019). Bu yöntem yalnızca yenilenebilir enerji üretmekle kalmaz, aynı zamanda gübre bertarafıyla ilişkili atık yönetimi sorunlarını da azaltır.

Biyokömür Üretimi: Biyokömür, biyokütlenin termal dönüşümü sonucu oluşan karbon açısından zengin bir malzemedir. Kullanıldığında, sıvı veya gaz ortamlarında kirleticilerin giderilmesi, toprak düzenlemesi veya karbonun uzun vadeli depolanması gibi alanlarda çevresel kalitenin iyileştirilmesine katkıda bulunabilir (James ve ark., 2022). Biyokömür üretimi için yavaş piroliz, hızlı piroliz, torrefaksiyon ve gazifikasyon gibi çeşitli teknolojiler yer almaktadır (Zhang ve Cai, 2011). Tarımsal artıkların pirolizi, besin tutma ve karbon birikimini artırarak toprak sağlığını iyileştirmek için kullanılabilir biyokömür üretebilir (Dai ve ark., 2016).

Toprak Düzenleyici: Tarımsal artıklar, OM içeriğini artırmak, toprak yapısını iyileştirmek ve bitkilerin büyümesi için gerekli temel besin elementlerini sağlamak amacıyla çeşitli yöntemlerle değerlendirilebilir. Bu artıklar, uygun koşullarda kompostlanarak toprağa uygulanabilir; böylece OM miktarı artırılırken, toprak mikroorganizmalarının aktivitesi desteklenir ve toprak biyolojik verimliliği yükseltilir. Ayrıca, kompostlanmamış halde doğrudan toprağa uygulanmaları da mümkündür; bu yöntemle toprakta su tutma kapasitesi, hava geçirgenliği ve toprak yapısal stabilitesi geliştirilir. Tarımsal artıkların bu çok yönlü kullanımı hem toprak sağlığının korunmasına hem de sürdürülebilir tarımsal üretimin desteklenmesine önemli katkılar sağlar (Açıkbaş ve ark.).

2.4. Tarımsal Artıkların Toprak Düzenleyici Olarak Kullanımı

Giderek artan insan nüfusundan kaynaklanan büyük miktardaki artık, tarımda çeşitli sürdürülebilir atık yönetimi yaklaşımlarını gerektirmektedir. Bu yaklaşımlardan biri, tarımsal artıkları etkili ve verimli bir şekilde toprak düzenleyicilerine dönüştürmektir. Tarımsal artıkların toprak düzenleyici olarak kullanımı, sürdürülebilir tarımda hayati bir araştırma ve uygulama alanıdır. Mahsul artıkları, işlemeden elde edilen yan ürünler ve hayvansal atıkları içeren tarımsal artıklar, etkin bir şekilde kullanıldığında toprak kalitesini, verimliliğini ve genel tarımsal üretkenliği önemli ölçüde artırabilir (Adejumo ve Adebiyi, 2021). Çeşitli besin maddeleri (örn. N, P, K, Ca²⁺, Mg, Si) ve OM bakımından zengin olan tarımsal artıklar, toprak verimliliğini artırmak ve ürünlerin büyümesini ve gelişmesini teşvik etmek için doğrudan geri dönüştürülebilir (Babla ve ark., 2022).

Küresel olarak, tarımsal artıklar genellikle yeterince kullanılmamakta, birçok çiftçi bunları yakmaktadır. Bu uygulama sadece çevre kirliliğine katkıda bulunmakla

kalmamakta, aynı zamanda toprak sağlığını iyileştirmek için kaçırmış bir fırsatı temsil etmektedir (Candemir ve Gülser, 2010; Schön ve ark., 2024). Birçok bölgede, bu artıkların toprak yönetimi uygulamalarına dahil edilmesinin potansiyel faydaları tam olarak gerçekleşmemekte, bu da toprağın bozulmasına ve tarımsal verimliliğin azalmasına yol açmaktadır (Demir ve Gülser, 2015).

Buğday, mısır, arpa ve pamuk gibi ürünlerden elde edilen tarımsal artıkların küresel çapta bol miktarda bulunduğu ancak genellikle etkin bir şekilde kullanılmadığı bilinmektedir. Bu artıkların toprak düzenleyici olarak uygulanması, toprak yapısını iyileştirmeye, besin kullanılabilirliğini artırmaya ve nem tutma oranını artırmaya yardımcı olabilir ve böylece sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik edebilir (Doni ve ark., 2024).

Tarımsal artıkların değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bazı yöntemler aşağıda verilmiştir;

Kompostlama: Kompostlama, tarımsal artıkların işlenmesi için en önemli ve yaygın teknolojilerden biridir. Kompostlama, hacim ve ağırlığı yaklaşık %50 oranında azaltarak, tarımsal amaçlar için toprakların kimyasal ve fiziksel özelliklerini geliştirmek üzere kullanılabilir stabil bir ürün elde edilmesini sağlar. Tarımsal artıklar, toprak yapısını ve verimliliğini iyileştiren organik gübreler oluşturmak için kompostlanabilir (Senesi, 1989). Kompostlama süreci, mikroorganizmaların OM'leri parçalayarak stabil hale getirdiği doğal bir süreçtir. Kompostlama sürecinde, lignin, selüloz, hemiselüloz, nişasta gibi biyomakromoleküller, mikroorganizmalar tarafından daha basit moleküllere kısmen dönüştürülmekte veya parçalanmaktadır (Medina ve ark., 2015). Bu süreç, tarımsal artıkların geri dönüştürülmesi ve toprağın verimliliğinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Kompostlama sadece besin maddelerini geri dönüştürmekle kalmaz, aynı zamanda besin döngüsü için çok önemli olan topraktaki mikrobiyal aktiviteyi de artırır (Lima ve Wright, 2018). Örneğin, pirinç kabuğu kompostunun pH ve elektrik iletkenliği dahil olmak üzere toprak kalitesi parametrelerini olumlu yönde etkilediği gösterilmiştir (Demir ve Gülser, 2015).

Biyokömür: Tarımsal artıkların pirolizi ile, toprak özelliklerini iyileştirmek için kullanılabilir kararlı bir karbon formu olan biyokömür üretilir. Biyokömür uygulaması toprak verimliliğini artırır, su tutma oranını yükseltir ve karbonu tutarak iklim değişikliğinin azaltılmasına katkıda bulunur (Barbosa ve ark., 2024). Çalışmalar, biyokömürün toprak agregat stabilitesini ve besin kullanılabilirliğini iyileştirebileceğini göstermiştir (Chen ve ark., 2022).

Malçlama: Tarımsal artıkların malç olarak uygulanması toprak yüzeyini koruyabilir, buharlaşmayı azaltabilir ve yabancı ot büyümesini bastırabilir. Bu uygulama, toprak neminin ve sıcaklığının korunmasına yardımcı olarak mahsulün büyümesi için daha elverişli bir ortam yaratabilir (Mulumba ve Lal, 2008).

Doğrudan Uygulama: Tarımsal artıkların doğrudan toprağa eklenmesi OM içeriğini artırabilir, toprak yapısını iyileştirebilir ve besin kullanılabilirliğini artırabilir. Örneğin, mısır kalıntılarının kumlu topraklara eklenmesinin agregat oluşumunu ve toprak stabilitesini iyileştirdiği gösterilmiştir (Awad ve ark., 2025).

Kısacası, tarımsal artıkların toprak düzenleyici olarak kullanılması, toprak sağlığının ve tarımsal verimliliğin artırılması için önemli bir fırsat sunmaktadır. Çiftçiler kompostlama, biyokömür uygulaması ve artıkların doğrudan eklenmesi gibi uygulamaları benimseyerek toprağın verimliliğini, yapısını ve nem tutma özelliğini geliştirebilir. Tarımsal artıkların etkin yönetimi ve kullanımıyla ilgili zorlukların ele alınması, küresel olarak sürdürülebilir tarım sistemlerinin teşvik edilmesi için elzemdir.

2.5. Tarımsal Atıkların Toprakların Fiziksel Özelliklerine Etkisi

Yapılan bir araştırmada, organik materyal ilavesi fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışma, farklı kökenlere sahip üç organik materyalin çeşitli dozlarla uygulanmış ve sera koşullarında deneme yürütülmüştür. Organik madde olarak tavuk gübresi, çöp kompostu ve işlenmiş leonardit uygulanmıştır. Yedi aylık inkübasyon süresi boyunca, farklı kökenlere sahip organik materyallerin organik madde miktarı (OM), katyon değişim kapasitesi (KDK), pH, elektriksel iletkenlik (EC), toplam azot içeriği (N), hacim ağırlığı ve agregat stabilitesi gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişiklikler incelenmiştir. Araştırma sonuçları, farklı kökenlere sahip organik materyallerin düzenli ve etkin bir şekilde kullanılmasıyla toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilebileceğini göstermektedir (Alagöz ve ark., 2006).

Yapılan bir çalışma da farklı toprak işleme uygulamalarının CO₂ emisyonları ve toprak neminin tutulması üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma, anız uygulamasının (%80-90 kaplama) sığ toprak işleme ve malç uygulamalarına kıyasla toprağın ısınmasını ve nem kaybını önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuştur. Bu durum, anızın toprak neminin tutulmasını etkili bir şekilde artırabileceğini ve OM mineralizasyonunu azaltarak daha iyi toprak sağlığını teşvik edebileceğini göstermektedir. (Mühlbachová ve ark., 2022).

Sadiq ve ark. (2024) tarafından yapılan bir çalışma da ilkbahar buğday agroekosistemlerinde korumalı toprak işlemenin faydaları araştırılmıştır. Çalışma, toprak işlemez anızın toprak mikrobiyal aktivitesini ve enzim seviyelerini önemli ölçüde iyileştirdiğini, bunun da mahsul çimlenmesini ve büyümesini artırdığını ortaya koymuştur (Sadiq ve ark., 2024).

Yapılan bir çalışmada kanola rotasyonunun toprak suyunun korunması üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma, artan yüzey anızının toprak sıcaklığında meydana gelen dalgalanmaları azalttığını ve toprağın üzerinde bir hava boşluğu oluşturarak su tutma kapasitesini artırdığını ortaya koymuştur (Schillinger ve ark., 2023).

2.5.1. Tarımsal atıkların toprak sıkışmasına etkisi

Toprak sıkışması, dinamik veya mekanik kuvvetlerin etkisiyle toprak taneciklerinin mevcut yapısal düzenlerinin bozulması ve taneciklerin daha kompakt bir biçimde yeniden dizilmesi sonucu, toplam porozitenin ve boşluk hacminin azalması, buna paralel olarak da hacim ağırlığının artması şeklinde tanımlanmaktadır (Demiralay, 1977; Swan, 1987). Özellikle toprak işleme sürecinde uygulanan yüksek mekanik baskılar sonucunda oluşmakta olan bu durum tarımsal üretimde sık karşılaşılan bir problem haline almaktadır (Şeker ve ali İşildar, 1998; Arslan, 2006; Mueller ve ark., 2011). Toprak neminin yüksek olduğu durumlarda gerçekleştirilen toprak işleme, sıkışmanın alt toprak katmanlarında daha yoğun biçimde gözlemlenmesine yol açmaktadır (Hamza ve Anderson, 2005).

Toprak sıkışması, toprak parçacıklarının sıklaşması ve gözeneklerin azalmasıyla oluşur; genellikle ağır makineler, yoğun tarım ve yanlış işleme tekniklerinden kaynaklanır. Bu durum köklerin toprakta ilerlemesini zorlaştırır, kök büyümesini sınırlar, oksijen ve su alımını azaltır. Sonuçta, bitkinin su ve besin alımı düşer, büyüme ve verim olumsuz etkilenir. Çalışmada, toprak sıkışmasının kök morfolojisi ve fizyolojisi üzerindeki etkileri ile köklerin kalınlaşma ve yön değiştirme gibi adaptasyonları incelenmiştir. Önlem olarak uygun işleme teknikleri, kontrollü trafik, OM ilavesi ve derin işleme önerilmektedir (Unger ve Kaspar, 1994).

Toprak sıkışması, toprak yapısını bozarak su ve hava geçişini azaltır, bu da erozyon riskini artırır. Ağır tarım makineleri ve toprak nemi sıkışmanın şiddetini etkiler. Sıkışmış toprakta kökler derinleşemez, su ve besin alımı zorlaşır, bitki büyümesi yavaşlar. Ayrıca, sıkışma kök çevresinde oksijen azlığı ve hormonal değişikliklere yol açar. Bu

durum, özellikle baklagiller gibi havalandırmaya ihtiyaç duyan bitkiler için zararlıdır. Sıkışma, toprakta hastalıkların yayılmasını kolaylaştırır ve kumlu topraklarda köklerin derinlere inmesini engelleyerek bitki gelişimini olumsuz etkiler (Batey, 2009).

Toprakların doku ve yapı özelliklerine göre sıkışmaya karşı sergiledikleri direnç farklılık göstermekle birlikte, bu durum sıkışmanın derecesini ve etkili olduğu toprak derinliğini belirleyici bir unsur olmaktadır (Alakukku, 2000). Kısmi düzeyde meydana gelen sıkışma, tohum ile toprak arasındaki teması geliştirerek çimlenme sürecini destekleyebilir ve bitkiye fiziksel dayanıklılık kazandırabilir. Ancak belirli bir sınırın aşılması halinde, gaz ve su hareketi kısıtlanmakta; buna bağlı olarak kök bölgesinde oksijen eksikliği, su kıtlığına bağlı fizyolojik aksamalar ve besin elementlerinin alımında azalma gibi olumsuz etkiler ortaya çıkmaktadır. Bu yapısal bozulmalar, bitki gelişimini engelleyen ve tarımsal verimliliği düşüren önemli agroteknik problemlere neden olmaktadır (Shaheb ve ark., 2021).

Yoğun tarım uygulamaları, yüksek mekanik yükler, sınırlı ürün çeşitliliği, yoğun otlama ve uygunsuz sulama yöntemleri toprak sıkışmasının başlıca nedenleri arasında yer almaktadır. Bu faktörler; düşük organik madde içeriği, hayvan çığnemesi ve uygunsuz nem koşullarında yapılan toprak işlemleriyle birleştiğinde sıkışmanın şiddeti daha da artmaktadır. Sıkışma, toprak hacim ağırlığı ve mukavemetini artırırken, gözeneklilik, agregat stabilitesi, hidrolik iletkenlik ve besin elementlerinin bulunabilirliğini azaltarak toprak sağlığını olumsuz yönde etkiler. Bu durum, kök gelişiminin kısıtlanmasına ve toprak üstü bitki büyümesinin bodurlaşmasına yol açarak ürün performansını düşürdüğü yapılan çalışmalarla desteklenmiştir (Shah ve ark., 2017b).

Organik madde, toprak tanecikleri arasında kimyasal ve biyolojik bağlar oluşturarak stabil agregatlar meydana getirir. Bu agregatlar makro-poroziteyi artırarak hem hava hem de su iletimini iyileştirir ve sıkışmaya karşı dayanıklılığı artırır.

Çalışmada, sera koşullarında biyokömür uygulamalarının farklı solarizasyon örtü materyalleri ile birlikte bazı toprak fiziksel özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Biyokömür uygulamaları sonucunda toprakların penetrasyon direnci 1 MPa'dan 0.89 MPa seviyelerine kadar düşmüştür. Uygulamaların hacim ağırlığı üzerindeki etkileri, penetrasyon direnci ile benzerlik göstermiş ancak istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Biyokömür uygulamaları ile yarayışlı su içeriği yaklaşık %1 seviyesinde istatistiksel olarak önemli ($P < 0.01$) bir artış göstermiştir. Çalışma sonucunda, agregasyon oranı üzerinde BPE örtü materyalinin etkili olduğu bulunmuştur. Ayrıca, biyokömür

uygulamaları ile penetrasyon direncinde azalma ve yarayışlı su içeriğinde artışlar gözlemlenmiştir (Alaboz ve Öz, 2020).

Farklı bir çalışmada ise vermikompost ve koyun gübresinin toprak sıkışması üzerine etkileri incelenmiştir. Tınlı ve killi tınlı topraklarda farklı dozlarda organik materyaller eklenerek proktor testi yapılmıştır. Sonuçlar, her iki organik maddenin eklenen seviyelerinin toprak sıkışmasının azaltılması üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermiştir. Organik maddenin en yüksek doz (%8) uygulamasında, toprak sıkışması %9.25 oranında azalmıştır. Toprağa organik madde ilavesi, kritik nemi doğrusal olarak azaltmıştır. Organik maddenin %6 ve %8 civarındaki uygulamalarında, tınlı toprakla karşılaştırıldığında, killi tın toprak üzerinde daha etkili olmuştur (Shahgholi ve Janatkah, 2018).

Değişen organik madde içeriği ile üç farklı tekstüre sahip topraklarda üç seviyede sıkıştırma yapılarak fasulye ekimi yapılmıştır. Kontrollü bir şekilde bazı bitki ve verim parametreleri ölçülmüştür. Araştırma sonuçları, toprak sıkışmasının ürünün taze verimini, bitki boyunu ve kök kuru maddesini düşürdüğünü, ancak bitki çapını artırdığını göstermektedir. Ayrıca, sıkışmayı azaltma eğiliminde olan organik madde katılımının, ürünün taze ve kuru verimini, bitki boyunu, yaprak alanı endeksini ve kök kuru maddesini artırdığı belirlenmiştir. Bu bulgular, bitkisel üretimde toprak sıkışması sorunlarını hafifletmek için organik madde kullanımının büyük bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Ohu ve ark., 1985).

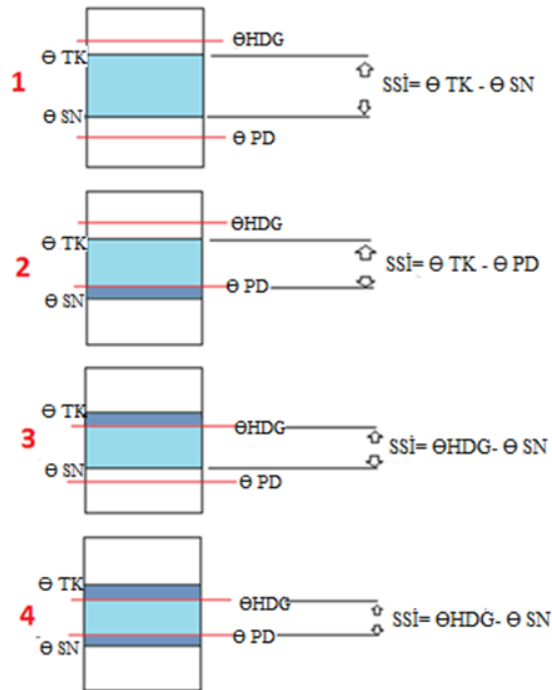
Toprak sıkışmasının önlenmesi için kontrollü trafik, uygun lastik basıncı, derin işleme, OM ilavesi, örtü bitkileri ve ürün rotasyonu gibi yöntemler önemlidir. Sıkışma, verimde %50'ye varan kayıplara yol açar (Shah ve ark., 2017a).

Hettiaratchi (1990) çalışmasında, toprak sıkışmasının bitki kök büyümesi üzerindeki mekanik etkileri incelenmiştir. Sıkışma, toprak yoğunluğunu artırarak gözenekleri küçültür ve köklerin toprak içinde ilerlemesini zorlaştırır. Köklerin büyüebilmesi için çevresindeki toprak taneciklerini hareket ettirmesi ve mekanik direnci aşması gerekir, bu da kök uzamasını yavaşlatır. Literatürde, 80 kPa üzerindeki sıkışmanın kök gelişimini engellediği, 0.9-1.5 MPa arasındaki dirençlerin ise kök büyümesini sınırlandırdığı belirtilmiştir. Basınç arttıkça kök uzaması azalır; örneğin 0.2 bar basınçta %50, 0.5 bar basınçta %80 düşüş meydana gelmiştir. Sıkışmış topraklarda hava, su ve besin hareketi kısıtlandığı için bitki gelişimi ve verim olumsuz etkilenir. Çalışma, toprak sıkışmasının tarımsal üretimdeki önemini vurgulamakta ve uygun toprak işleme ile makine kullanımının gerekliliğini önermektedir.

2.5.2. Tarımsal atıkların sınırlandırılmış su aralığına etkisi

Toprağın dinamik özelliklerindeki değişimler (kök PD, Pw ve havalandırma gözenekliliği, vb.) toprakta bitki büyümesini ve gelişmesini doğrudan etkilemektedir. Dinamik toprak özelliklerinden herhangi bir parametrenin değişmesi ile kök gelişiminin etkilendiği yapılan çalışmalarda görülmektedir (Da Silva ve ark., 1994). Yapılan çalışmada bitki gelişimini etkileyen strüktür kalitesinin bir indeksi olarak sınırlandırılmış su aralığı (SSA) kavramını oluşturmuşlardır (Da Silva ve ark., 1994). Bitkilerin kök büyümesi üzerine sınırlandırılmış su rejimi için alt sınır ve üst sınır belirlenmiştir. Sınırlandırılmış su rejimi için alt sınır için iki farklı toprak su içeriği değeri belirlenmelidir. Bu değerlerden birisi kök gelişiminin yavaşladığı toprağın 2 MPa penetrasyon direncindeki toprak su içeriğidir, diğeri ise toprağın solma noktası su içeriğidir. Sınırlandırılmış su içeriğinde üst sınır için yine iki farklı toprak su içeriği parametresi belirlenmiştir. Bunlar toprağın toplam gözenek hacminin tarla kapasitesindeki toprak su içeriği hacminin farkının belirlenmesidir.

Toprakların SSA değerini belirlemek için (Wu ve ark., 2003), θ_{TK} , θ_{HDG} , θ_{SN} ve θ_{PD} değerlerini kullanarak dört farklı olasılık belirlemiştir (Şekil 2.1);



Şekil 2.1 Sınırlandırılmış su rejimi fonksiyonlarının hesaplanması için kullanılan formüller (Wu ve ark., 2003)

1- $(\theta_{HDG} \geq \theta_{TK})$ ve $(\theta_{PD} \leq \theta_{SN})$ ise $SSA = \theta_{TK} - \theta_{SN}$

(Toprağın normal yarayışlı su miktarı),

2- $(\theta_{HDG} \geq \theta_{TK})$ ve $(\theta_{PD} \geq \theta_{SN})$ ise $SSA = \theta_{TK} - \theta_{PD}$

(Penetrasyon direnci kök gelişimini sınırlandırır)

3- $(\theta_{HDG} \leq \theta_{TK})$ ve $(\theta_{PD} \leq \theta_{SN})$ ise $SSA = \theta_{HDG} - \theta_{SN}$

(Havalandırma zayıf)

4- $(\theta_{HDG} \leq \theta_{TK})$ ve $(\theta_{PD} \geq \theta_{SN})$ ise $SSA = \theta_{HDG} - \theta_{PD}$

(Hem havalandırma zayıf hem de penetrasyon direnci yüksek olduğu için bitki gelişimi çok sınırlanır.)

θ_{HDG} : Havalandırma gözenekliliğinin %10'a eşit olduğu toprak su içeriği (m^3m^{-3}),

θ_{TK} : Tarla kapasitesi (m^3m^{-3}),

θ_{SN} : Solma noktası (m^3m^{-3}),

θ_{PD} : Penetrasyon direnci 2 MPa'dan fazla olduğunda toprağın su içeriği (m^3m^{-3})

Toprakların SSA değerleri incelendiğinde Şekil 2.1'de görüldüğü üzere birinci durum bitki yetiştirmeye en uygun durumdur, havalanma problemi ve kök gelişiminin sınırlandırıldığı herhangi bir durum bulunmamaktadır. İkinci durumda sadece kök gelişiminin sınırlandırıldığı 2 MPa değerindeki toprak su içeriği SN üzerinde olduğu için kök gelişimi sınırlandırılır. Üçüncü durumda toprakta köklerin havalanma problemi olduğu görülmektedir. Dördüncü durumda ise hem kök gelişiminin sınırlandırıldığı 2MPa değeri hem de yetersiz havalanma sebebiyle kök gelişiminin olumsuz etkilendiği durumdur (Da Silva ve ark., 1994; da Silva ve Kay, 1997). Böylece toprak su içeriği ve toprağın sıkışma durumu bitki büyümesinin sınırlandırılmasını önlemek için dikkat edilmesi gereken önemli parametrelerdendir (Wu ve ark., 2003; Çetin, 2018).

Chen ve ark. (2014) toprak sıkışmasının toprakta sınırlayıcı su aralığını (SSA) daralttığı ve toprak hava geçirgenliğini azalttığı belirlemiştir. Sıkışmış topraklarda kök gelişimi için uygun su ve hava koşullarının sağlanması zorlaşmakta, bu da bitki büyümesini olumsuz etkilemektedir. Örtü bitkilerinin kullanımı ise toprak yapısını iyileştirerek SSA'yi genişletmiş ve hava geçirgenliğini artırmıştır. Özellikle uzun köklü örtü bitkilerinin toprakta gözenek oluşumunu destekleyerek sıkışmanın olumsuz etkilerini hafiflettiği gözlemlenmiştir. Çalışma, toprak sıkışmasının tarımsal üretim üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için örtü bitkilerinin sürdürülebilir bir yöntem olduğunu vurgulamaktadır.

Liu ve ark. (2021) tarafından gerçekleştirilen bu araştırma, modifiye edilmiş sınırlayıcı su aralığı (SSA) yöntemini kullanarak farklı toprak işleme tekniklerinin mısır

üretimi üzerindeki etkilerini incelemiştir. SSA, kök büyümesinin mekanik olarak engellenmediği, köklerin toprakla tam temas halinde olduğu ve bitkinin toprağa sağlam şekilde tutunduğu ideal toprak su içeriği aralığını ifade eder. Beş farklı toprak işleme yöntemi toprak işleme yok, döner toprak işleme, geleneksel pulluk, alt işleme ve döner toprak işleme sonrası toprak sıkıştırma beş yıl süren saha deneyinde karşılaştırılmıştır. Deney boyunca toprak hacim ağırlığı, su içeriği ve penetrasyon direnci düzenli olarak ölçülmüş ve SSA belirlenirken aşırı gevşek toprak koşulları da göz önünde bulundurulmuştur. Bulgular, mısır veriminin, toprak işleme uygulamalarının SSA ve optimum hacim ağırlığı aralığında olduğu durumlarda yüksek ve istikrarlı seyrettiğini göstermiştir; bu koşullarda verim %98.3 ile %100 arasında değişmiştir. Öte yandan hacim ağırlığı optimum aralığın dışında olduğunda verim %86.3 ile %100 arasında dalgalanmıştır.

Da Silva ve ark. (1994) yaptıkları çalışmada, toprağın mekanik direnci, yapısal özellikleri ve su içeriği arasındaki ilişkileri araştırarak sınırlayıcı su aralığı (SSA) kavramını tanımlamışlardır. Araştırmada, toprak su tutma kapasitesi, hava dolu gözeneklilik, hacim ağırlığı ve toprak direncinin SSA üzerindeki etkileri incelenmiş ve siltli tınlı ile tınlı kumlu topraklarda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, toprak hacim ağırlığı arttıkça SSA değerlerinin önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. Özellikle siltli tınlı topraklarda SSA 0 ile 0.14 cm³ cm⁻³ arasında değişirken, tınlı kumlu topraklarda bu aralık 0.05 ile 0.13 cm³ cm⁻³ olarak bulunmuştur.

Da Silva ve Kay (2004) toprak fiziksel kalitesinin değerlendirilmesinde süreç yeteneği analizinin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Üç yıl boyunca sıfır toprak işleme uygulanan mısır tarlasında toprak su içeriği ve sınırlayıcı su aralığı (SSA) verileri toplanarak, bu iki parametre arasındaki zamansal değişkenlik incelenmiştir. Süreç yeteneği analizi, toprak su içeriği ile SSA arasındaki ilişkiyi ortaya koyarak, toprağın bitki büyümesine uyguladığı stresin mekansal ve zamansal farklılıklarını etkili şekilde tanımlamıştır. Özellikle en yakın spesifikasyona uzaklık (DNS) ölçütü, toprak fiziksel kalitesindeki değişimleri ve bitki üzerindeki stres durumlarını belirlemede güçlü bir gösterge olarak öne çıkmıştır.

Drury ve ark. (2003) azot (N) mineralizasyonunu etkileyen faktörleri araştırarak, farklı toprak tiplerinde ve baklagil mahsul kalıntılarının eklenip eklenmediği koşullarda toprak su içeriği ile sınırlayıcı su aralığı (SSA) etkilerini incelemiştirlerdir. Çalışmada beş farklı toprak tipi, sekiz farklı su seviyesi ve iki farklı sıkıştırma düzeyinde deneyler yapılmıştır. Sonuçlar, N mineralizasyonunun su içeriğine duyarsız olduğu bir sınırlayıcı

olmayan su aralığı (NSSA) bulunduğunu göstermiştir. Ayrıca, SSA'nın organik karbon ve toplam azot içeriğiyle arttığı, ancak baklagil kalıntılarının eklenmesiyle azaldığı tespit edilmiştir. Araştırmada, N mineralizasyonunun su içeriği değişimlerine olan hassasiyetini ve NSSA ile SSA'nın etkilerini açıklamak üzere lojistik modeller geliştirilmiştir.

Farklı toprak türlerinde optimum toprak su içeriği ile bitkisel biyolojik süreçler arasındaki ilişkinin araştırıldığı bir çalışmada, mısırın (*Zea mays* L.) gelişme hızı, gaz değişim oranları, sürgün ve kök biyokütlesi ile kök morfolojisi, toprakların optimum su içeriği koşullarında değerlendirilmiştir. Bulgular, her toprak tipinin sınırlayıcı su aralığı (SSA) değerlerinin farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Bitkiler, değişik sıkışma seviyeleri ve azot gübreleme oranları altında üç farklı su içeriğinde yetiştirilmiş ve optimum su içeriğinde en yüksek büyüme performansı gözlenmiştir. Ancak, toprak türlerine bağlı olarak büyüme oranlarında farklılıklar ve sıkışmanın bitki tepkilerini azalttığı belirlenmiştir (Kay ve ark., 2006).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışmada Kullanılmış Organik Materyaller

Çalışmada kullanılmış organik materyallerin tümü mısır biyokütlesinden elde edilmiştir.

Anız; ilk olarak kompost ve anız uygulamaları için mısır artıkları Konya-Karapınar bölgesindeki bir çiftlikten temin edilmiştir. Mısır samanlarının biyokimyasal parçalanmasını hızlandırmak ve kompostlama sürecini kısaltmak için bitki materyallerinin parçacık boyutu 15mm'den küçük olacak şekilde öğütülmüştür (Şekil 3.1). Öğütülen hasat artığının bir kısmı arazide doğrudan kullanım için ayrılmıştır kalan kısmı ile 17 Haziran 2020 tarihinde kompost yapımına başlanmıştır.

Yeşil aksam; deneme kurulmadan hemen önce aynı bölgede ekili olan silajlık mısır arazilerinden, silaj makinası ile hasat edilerek elde edilmiştir. Gerekli ölçümler yapıldıktan sonra yeşil aksam belirlenen miktarlarda, arazi yüzeyine homojen bir şekilde serilmiş ve toprakta 0-20cm derinliğe rotatiller yardımı ile karıştırılmıştır.



Şekil 3.1 Çalışmada kullanılan uygulama materyalleri

3.2. Kompostlama Prosedürü

Kompostlama için kullanılan olgun sığır gübresi Konya-Karapınar bölgesindeki bir çiftlikten temin edilmiştir. Havalandırılmış (çevrilmiş) sıra kompostlama yöntemi ile

öğütülmüş mısır artıklarını ahır gübresi ile karıştırarak kompostlama süreci başlatılmıştır. Kompostun olgunlaşma sürecini hızlandırmak için ağırlıkça %5 melas (1 ton mısır samanı ile 50 kg melas) ve %20 olgun çiftlik gübresi (1 ton mısır samanı ile 200 kg olgun çiftlik gübresi) eklenmiştir. Kullanılan melas Konya Şeker fabrikasından temin edilmiş %77 kuru madde, %9 ham protein ve %66 OM, içeriğine sahiptir. Kompostlama ortamının C/N oranını yaklaşık 30:1'e ayarlamak için %46 azot içeren bir üre gübresi kullanılmıştır. Mısır samanı ve ahır gübresi sırasıyla %38.69 ve %35.35 OC içeriğine, %0.74 ve %2.56 toplam azot (TN) içeriğine sahiptir. C/N oranları 52.28 ila 13.80 arasında değişmektedir.

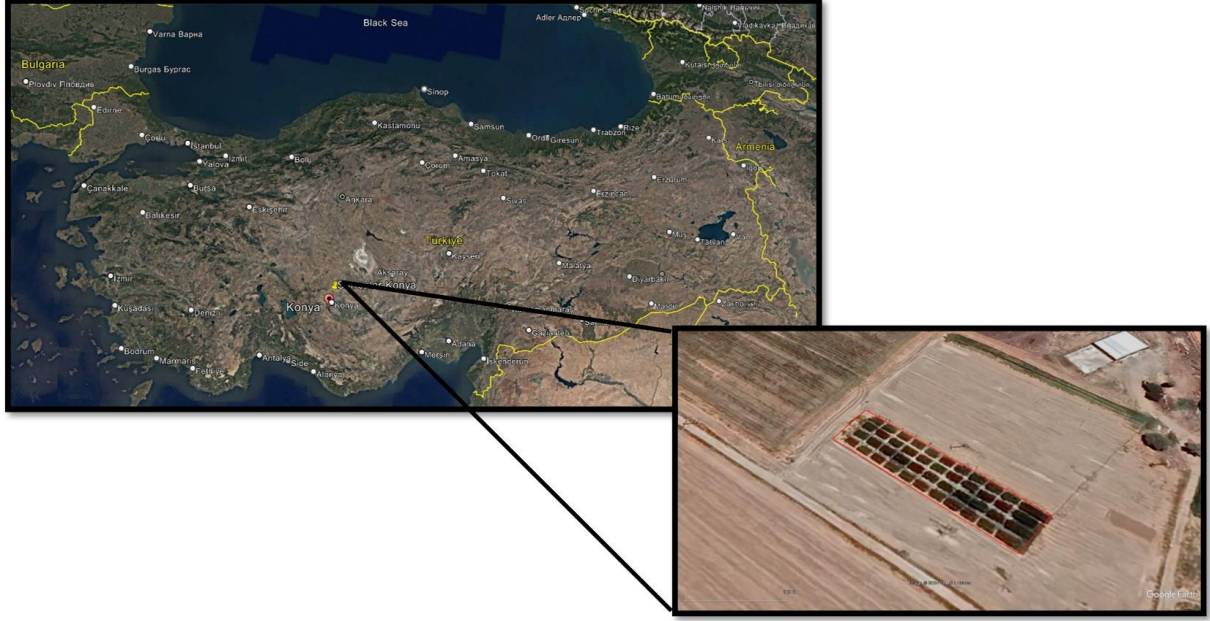
Kompost materyali, 2-2.5 m genişliğinde ve 0.9-1.0 m yüksekliğinde bir beton zemin üzerinde tasarlanmıştır (Şekil 3.2). Başlangıçta, yığının nem kaybını azaltmak ve homojen bir şekilde olgunlaşmayı teşvik etmek için polietilen bir örtü ile korunmuştur. Kompost yığınının sıcaklığı günlük olarak izlenmiş ve yığın haftalık olarak karıştırılarak havalandırılmıştır. Sıcaklık ölçümleri, dijital toprak termometresi (Aquaterr EC-300 multimetre) kullanılarak kompost içindeki 10 farklı noktada gerçekleştirilmiştir. Eş zamanlı olarak kompost yığını üzerinde nem ölçümleri yapmak için numuneler alınmıştır. Kompost yığını, kompostlama süresi sona erene kadar haftalık ters çevrilerek karıştırma işlemi yapılmış ve düzgün bir kompostlama sağlanmıştır. Bu yöntemle birlikte kompost haftada 1 kez karıştırılarak aktarılan yığın 10 haftada olgunlaşarak C/N oranının 17-18 değerlerinin altında bir değere düştüğü dönemde kompostlama işlemine son verilerek araziye taşınması için paketlenmiştir.



Şekil 3.2 Kompost yapım aşamaları

3.3. Çalışma Alanı ve Yöntem

Deneme, Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Sarıcalar Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde, kil içeriği yüksek bir arazide 2 farklı yetiştirme döneminde yürütülmüştür (Şekil 3.3). Bu arazi 2006 yılında işlemeli tarıma açılmış olup, buğday, arpa, şeker pancarı, mısır ve ayçiçeği yetiştiriciliği yapılmaktadır.



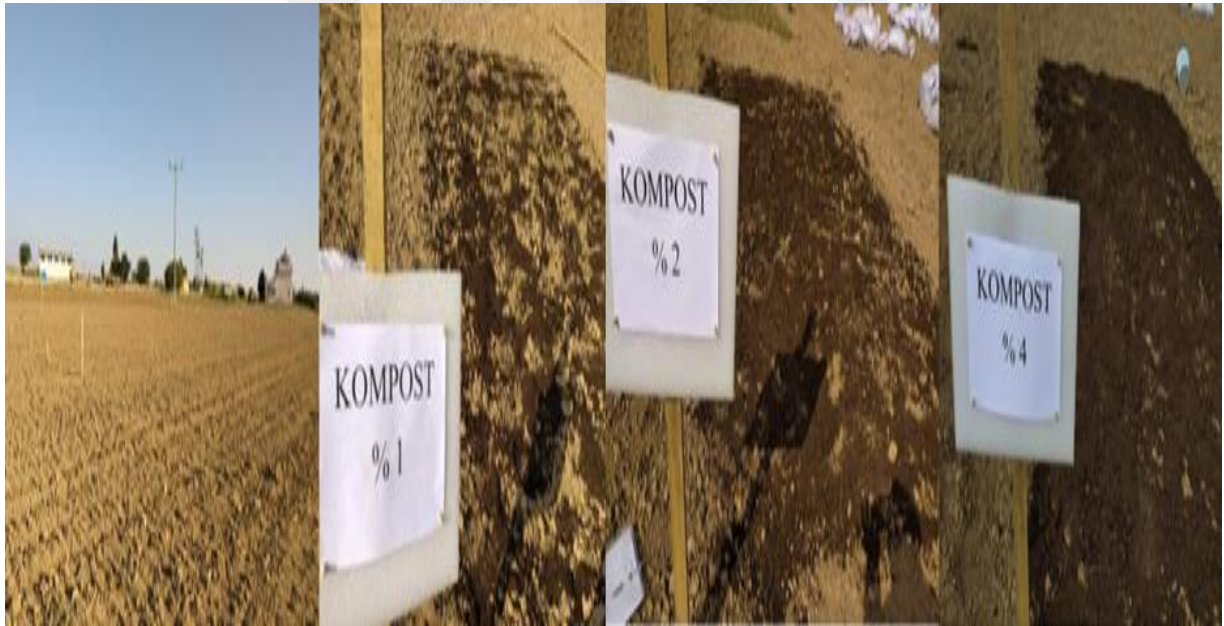
Şekil 3.3 Deneme alanının uydu görüntüsü

Denemenin kurulduğu alandan ilk olarak 0-20 cm derinliklerden toprak örnekleri alınarak deneme başlangıcı toprak özelliklerinin belirlenmesi için laboratuvar ortamına getirilmiştir. Toprak örneğinin bazı özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Deneme alanının toprak özellikleri

Toprak Özellikleri		Sonuçlar	
Tekstür Sınıfı	Kil	% Kil	54.00
		% Silt	38.00
		% Kum	8.00
pH		7.78	
EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)		602	
Kireç (%)		12.39	
Organik Madde (%)		1.92	
Zerre yoğunluğu (g cm^{-3})		2.65	

Çalışmada toprağa 3 farklı uygulama (kompost, anız, yeşil aksam) yapılmıştır. Mısır bitkisinden elde edilen farklı formlardaki organik artıklar 3 farklı dozda (1-2 ve 4 ton da⁻¹) toprağa uygulanmıştır (Çizelge 3.2). Toprağa uygulanan kompostun arazideki görünümü Şekil 3.4'te verilmiştir. Deneme deseni, tesadüfi bloklar deneme deseninde ve silajlık mısır ile arpa ekim nöbetinde 2 yetiştirme sezonunda yürütülmüştür. Daha sonra, parsel boyutları: 5x3= 15 m² ve 4 tekrarlı olarak toplamda 40 adet parsel oluşturulmuş ve her bir parsel ve bloklar arasında 2'şer m mesafe bırakılmıştır. Hazırlanan parsellere kura çekilerek belirlenen organik materyaller dağıtılarak isimlendirilmiştir. Toprak yüzeyine (0-20 cm derinliğe) Rotatiller kullanılarak mısır artığından elde edilen farklı formlardaki 3 toprak düzenleyicisi (kompost, yeşil aksam ve anız) karıştırılmıştır (Şekil 3.5). Eylül ayında yapılan uygulamalardan sonra arazi doğal inkübasyon sürecine bırakılmış ve mayıs ayında ilk olarak silajlık mısır ekimi yapılmıştır Ardından mısır hasatı sonrası ekim ayında arpa ekimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.4 Denemenin kurulduğu arazi ve kompost uygulamalarının parsel görünümü

Çizelge 3.2 Uygulama materyalleri ve dozlar

Dozlar	1 ton da ⁻¹	2 ton da ⁻¹	4 ton da ⁻¹
Uygulamalar			
Kontrol		K	
Anız	A1	A2	A4
Kompost	KO1	KO2	KO4
Yeşil Aksam	YA1	YA2	YA4



Şekil 3.5 Uygulama alanında Rotatiller kullanımı



Şekil 3.6 Uygulamalar sonrasında ekilen mısırın ve arpanın arazideki görünümü

3.4. Laboratuvar Çalışmalarında Yapılmış Analiz ve Yöntemleri

Çalışmada her örnekleme döneminde 0-20 cm derinlikten 8-10 farklı noktadan belirli bir hacime sahip çelik silindirler ile alınan bozulmamış toprak örnekleri hacim ağırlığı ve tarla kapasitesi değerlerinin belirlenmesi için laboratuvar ortamına getirilmiştir. Aynı şekilde her örnekleme döneminde alınan bozulmuş toprak örnekleri laboratuvarda hava kuru hale getirilerek fiziksel ve kimyasal analizlerde kullanılmak üzere kapalı kaplarda depolanmıştır.

3.4.1. Fiziksel analizler

Tekstür Tayini: Toprak örnekleri 2mm'lik elekten elendikten sonra Bouyoucos Hidrometre Yöntemi'ne göre yapılmıştır (Gee ve Bauder, 1986).

Zerre Yoğunluğu (Pk, g/cm³): Zerre yoğunluğunun tayininde "piknometre yöntemi" kullanılmıştır (Blake ve Hartge, 1986a)

Hacim Ağırlığı (Pb, g/cm³): Tarla trafiği ile sıkışmış ve sıkışmamış alanlardan 100 cm³'lük silindirlerle bozulmamış örnekleme yapılmıştır (Blake ve Hartge, 1986b).

Gözeneklilik (P, %): Hacim ağırlığı ve zerre yoğunluğundan hesaplanarak belirlenmiştir (Danielson ve Sutherland, 1986).

Hava Dolu Gözeneklilik (HDG, %): Gözeneklilik-0.10

Tarla Kapasitesi (TK, %): Bozulmamış örneklerde 100 kPa'lık basınç tablasında 33 kPa basınçta toprakta tutulan nem miktarını belirleyerek bulunmuştur (Klute, 1986).

Solma Noktası (SN, %): Bozulmuş örneklerde 1500 kPa'lık basınç tablasında toprakta tutulan nem miktarının bulunmasıyla belirlenmiştir (Klute, 1986).

Faydalı Su Kapasitesi (FSK, %): Tarla kapasitesi değerinden solma noktası değeri çıkartılarak hesaplama yoluyla bulunmuştur (Klute, 1986).

Rutubet Karakteristik Eğrisi: Rutubet karakteristik eğrisinin belirlenmesinde, düşük nem tansiyonlarının (0-31-63-100 cm) (<10 kPa) belirlenmesinde kum kutusu (Şekil 3.7), yüksek nem tansiyonlarının (0.33-15 bar) belirlenmesinde 100 kPa ve 1500 kPa basınçlarda ölçüm yapılabilen seramik tablalar kullanılmıştır (Klute, 1986). Ayrıca solma noktasından sonraki yüksek pF'lerdeki su içeriği (yaklaşık pF 6) çığlenme noktası potansiyometresi (WP4C) cihazı kullanılarak tayin edilmiştir (Campbell ve ark., 2007).



Şekil 3.7 Toprak örneklerinin kum kutusundaki görünümü

Penetrasyon Direnci (PD, MPa): Eijkelkanp dijital penetrometre (0-10 MPa) kullanılarak her bir cm derinlikte penetrometre ölçülmüştür. Ölçüm esnasında kullanılan penetrometre uçunun özellikleri; konik uçlu, 60° açılı ve 1 cm² uç alanına sahiptir. Üst katman PD (0-20 cm) ölçümü yapılarak tarla trafiği olan sıkışmış alandan ve sıkışmamış alandan ölçümler alınmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Uygulama arazisinin penetrasyon direncinin belirlenmesi

Sınırlayıcı Su Aralığı (ΘSSA): Tarla trafiği olan ve olmayan alanlardan yapılan örnekleme ile sınırlayıcı su aralığının olasılıkları incelenerek üst limit ve alt limit değerleri hesaplanarak arasındaki farkın bulunması ile belirlenmiştir (Da Silva ve ark., 1994).

Hidrolik İletkenlik (Ks, %): Toprakların K değerleri Darcy yasası uyarınca laboratuvar koşullarında Mariotte düzeneği kurularak belirlenmiştir (Demiralay, 1977). Bozulmamış örnek alma silindirleri içindeki doymun haldeki numunelerin üzerine eşit boylarda kesilen borular takılarak eşit seviyede su eklenmiştir. Daha sonra toprak numunesinden akan suyun hacmi belirli bir zaman dilimi boyunca ölçülerek belirlenmiştir (Şekil 3.9).

$$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot t \cdot h}$$

K: Hidrolik iletkenlik (cm/s, m/s gibi)

Q: Akış hızı (cm³/s veya m³/s)

L: Numunenin uzunluğu (akış yönünde, cm veya m)

A: Kesit alanı (cm² veya m²)

h: Hidrolik yük farkı (cm veya m)

t: süre (dk)



Şekil 3.9 Toprakların hidrolik iletkenlik durumunun belirlenmesi

Atterberg Kıvam Limitleri:

Likit Limit (%): Toprak örnekleri 0.42 mm'lik elekten geçirilerek elde edilen numunede likit limit penetrometresi cihazında ölçüm yapılmıştır (Şekil 3.10) (TSE, 1900).

Plastik Limit (%): Toprak örnekleri 0.42 mm'lik elekten elenen toprak örneğinin, 3 mm çapında çubuklar haline getirilirken numunelerde çatlama başladığı noktadaki nem içeriği ölçülerek hesaplanmıştır (Mertoğlu, 1982).

Plastiklik İndeksi: Likit limit ve plastik limit verileri kullanılarak hesaplanmıştır (Mertoğlu, 1982).



Şekil 3.10 Topraklarda likit limit-plastiklik limit belirlenmesi

3.4.2. Kimyasal analizler

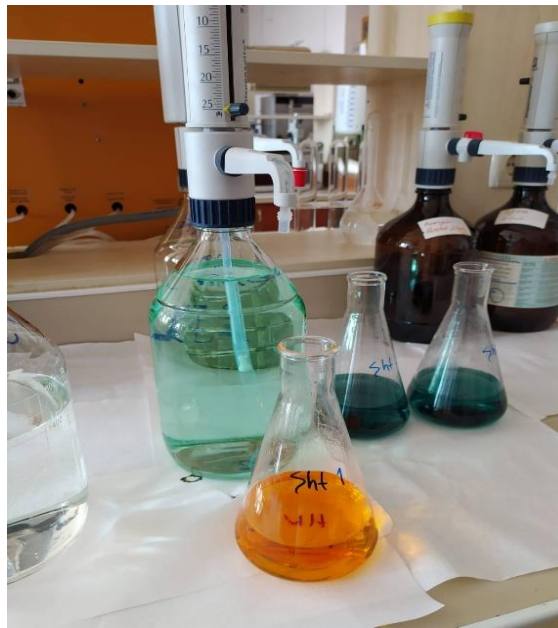
pH: Dijital göstergeli pH metre ile 1:1 toprak-saf su karışımında ölçülmüştür (Şekil 3.11) (McLean, 1982).

Elektriki İletkenlik (EC): 1:1 toprak-saf su karışımında EC ölçer kullanılarak ölçülmüştür (Rhoades, 1982).



Şekil 3.11 Örneklerde pH ve EC okumalarının yapılması

Organik Madde (%): Yaş yakma oksidasyon yöntemi ile belirlenmiştir (Şekil 3.12) (Nelson ve Sommers, 1982).



Şekil 3.12: Toprakların karbon içeriklerinin belirlenmesi

Kireç (%): Scheibler kalsimetresinde seyreltik HCl ile toprağın reaksiyona tabi tutulması ile karbonatlardan çıkan CO₂ hacminin ölçülmesi ile belirlenmiştir (Nelson, 1982).

3.4.3. Bitkilerde yapılan analizler

Biyokütle (g): Hasat zamanında bitkinin toprak altı aksamının tartımı yapılarak belirlenmiştir (Şekil 3.13).

Kuru biyokütle (g): Hasat zamanı tartılan biyokütlelerin nem tayininin (70⁰C) yapılarak hesaplanmasıyla belirlenmiştir.



Şekil 3.13 Hasat sonrası bitkilerin kök durumu

3.4.4. Mısır ve Arpa üretiminde tarla trafiği oluşturulması

Mısır bitkisinin silaj makinesi yardımı ile Massey Ferguson dyna4 serisi traktör ve Çelikel marka sıra bağımsız silaj makinasıyla birlikte ekim ayı başında hasat edilmesi sonucu uygulama yapılan parsellerde bir miktar toprak sıkışmasına sebep olmuştur (Şekil 3.14).



Şekil 3.14: Mısır hasatı, tarla trafiği

Bu durum arpa bitkisinin yetiştiriciliğinde de mayıs ayı sonu başakların dolum dönemi devam ederken New Holland TD 90D marka traktörün parsellerden geçmesi sonucu parseller toprak sıkışmasına maruz bırakılmıştır. Parsellerin traktör geçisi sonucu ezilen bölümlerinden penetrasyon direnci ölçümleri yapılmış ve analizlerde kullanılmak üzere hacim ağırlığı örnekleri alınmıştır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15: Arpa yetiştiriciliği, tarla trafiği

3.5. İstatistiksel Analizler

Çalışma tesadüf parselleri deneme planında dört paralelli olarak toplamda 40 adet parselde gerçekleştirilmiştir. IBM SPSS 29.0 programı kullanılarak varyans analizi (ANOVA) ile gerçekleştirilmiştir. Varyans analizi sonrası, gruplar arası farklılıklar TUKEY Testi'ne göre %5 ve %1 anlamlılık düzeyinde karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. İstatistiksel yöntemler literatürde açıklanan standart uygulamaları takip etmiştir (Field, 2024).



4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Uygulanan Materyallerin Arazinin pH Değerine Etkisi

Yapılan kompost, anız ve yeşil aksam uygulamalarının hasat sonrası alınan toprak örneklerinde pH değeri mısır ve arpa ekimlerinde farklılıklar göstermiştir. Mısır yetiştiriciliği sonucu kontrol parseli pH değeri 7.9 iken arpa yetiştiriciliği sonucu 7.82 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.1). Bu değerlerde görüldüğü gibi hafif alkalın karakterdeki toprakların kontrol değerlerinin altında kalmış ve hafif bir düşüş meydana getirmiştir (Çizelge 4.1).

İlk yıl mısır üretimi yapılan dönemde, kompost, anız ve yeşil aksam uygulamalarının pH değerleri incelendiğinde kontrol verilerine göre anlamlı farklılık oluşturduğu görülmüştür ($p < 0.001$). Yapılan kompost uygulaması dozlarının ve anız uygulamasının dozları arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır. Yeşil aksam uygulamasında ise 2 ton da^{-1} doz uygulama, 1 ton da^{-1} ve 4 ton da^{-1} doz uygulamalarına göre anlamlı farklılık oluşturmuş fakat 1 ton da^{-1} doz uygulama kontrol grubuna göre anlamlı farklılık oluşturmamıştır. Uygulamalar arasında kontrol grubuna göre en anlamlı farklılık 4 ton da^{-1} doz anız uygulamasında olduğu görülmüştür.

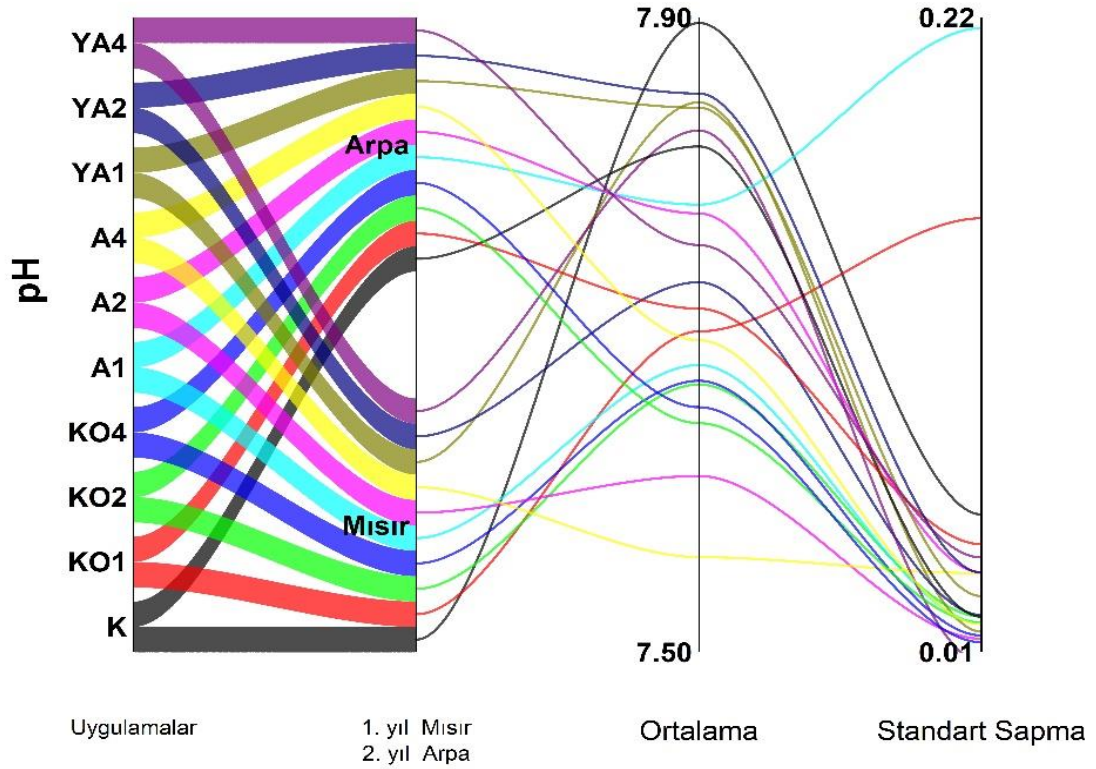
İkinci yıl arpa üretimi yapılan dönemde, yapılan uygulamaların pH değerleri, kontrol verilerine göre anlamlı farklılık oluşturmuştur ($p < 0.001$). Kompost uygulamasının dozları ve anız uygulamasının dozları arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır. Yeşil aksam uygulamasında ise 4 ton da^{-1} doz, 2 ton da^{-1} doz uygulamaya göre anlamlı farklılık oluşturmuştur. Kontrol grubuna göre en anlamlı farklılık 2 ton da^{-1} doz kompost uygulamasında olduğu görülmüştür. Yüksek pH değişikliklerinin görülmemesinin nedeni olarak uygulanan organik materyallerin test edilen toprağın yüksek kireç içeriği ve pH'ye sahip olması gösterilebilir.

Toprak pH'sındaki değişiklikler başlangıç pH'sına, net asit veya alkalın girdilerine ve toprağın pH tamponlama kapasitesine bağlıdır. Literatürde yer alan bazı çalışmalar; topraklara uygulanan kompost materyallerinin toprak pH tamponlama kapasitesinde kısa süreli iyileşmelere neden olduğu yönündedir (García-Gil ve ark., 2004; Latifah ve ark., 2018). Yapılan başka bir çalışmada, toprağa uygulanan kompost pH seviyelerini değiştirmiştir, organik atıkların Oxisol ve Neosol'e eklenmesinin toprak verimliliğini ve elektriksel iletkenliği etkilediği belirlenmiştir (Carmo ve ark., 2016).

Çizelge 4.1: Kullanılan organik materyallerin arazi deneme toprağının pH değerine etkisi

pH Uygulamalar	Mısır			Arpa		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	7.90 ^d	0.02380	±0.07141	7.82 ^{def}	0.01567	±0.04702
Kompost 1 t da ⁻¹	7.70 ^{bc}	0.08806	±0.26419	7.72 ^{a-d}	0.01546	±0.04637
Kompost 2 t da ⁻¹	7.67 ^{ab}	0.00824	±0.02472	7.64 ^a	0.01510	±0.04531
Kompost 4 t da ⁻¹	7.67 ^{ab}	0.00807	±0.02421	7.65 ^{ab}	0.01547	±0.04640
Anız 1 t da ⁻¹	7.68 ^{ab}	0.00992	±0.02977	7.78 ^{c-f}	0.06448	±0.19344
Anız 2 t da ⁻¹	7.61 ^{ab}	0.00846	±0.02539	7.78 ^{c-f}	0.01748	±0.05244
Anız 4 t da ⁻¹	7.54 ^a	0.01302	±0.03905	7.70 ^{abc}	0.00928	±0.02784
Yeşil Aksam 1 t da ⁻¹	7.87 ^d	0.01190	±0.03571	7.84 ^{ef}	0.01041	±0.03122
Yeşil Aksam 2 t da ⁻¹	7.65 ^{ab}	0.01160	±0.03480	7.87 ^f	0.01323	±0.03969
Yeşil Aksam 4 t da ⁻¹	7.83 ^{cd}	0.00790	±0.02369	7.76 ^{b-e}	0.01434	±0.04301
p	***			***		
Skewness	-1.228			-0.257		
Kurtosis	6.248			0.253		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *:P<0.05, **:P<0.01, NS: Önemsiz, ***:P<0.001
****: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.



Şekil 4.1 Uygulamaların mısır ve arpa hasat sonrası pH değişimleri

4.2. Uygulanan Materyallerin Arazinin EC Değerine Etkisi

Toprakta çözülmüş tuz konsantrasyonunun bir göstergesi olan EC değeri, her iki yetiştirme döneminde incelenmiştir.

İlk yıl mısır üretimi yapılan parsellerde farklı dozlarda kompost, anız ve yeşil aksam uygulamalarının toprak EC değerleri üzerine etkisi Şekil 4.2’de verilmiştir (Çizelge 4.2). Yapılan uygulamalar ve dozları arasında kontrol grubu sonuçlarına kıyasla istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde edilmiştir ($p<0.001$). Kompost uygulaması yapılan toprakların EC değerlerinde kontrole ve diğer uygulama materyallerine kıyasla artış gözlenmiştir ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Anıza uygulaması yapılan toprakların EC değerleri incelendiğinde 1 ve 2 ton da^{-1} dozları kontrol değerinin altında kalmıştır ve bu değişim kontrole göre istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Yeşil aksam uygulaması yapılan topraklarda ise EC değerleri kontrol verilerine kıyasla 1 ve 2 ton da^{-1} dozları kontrol grubu değerlerinin altında kalmıştır ve bu farklılık istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur

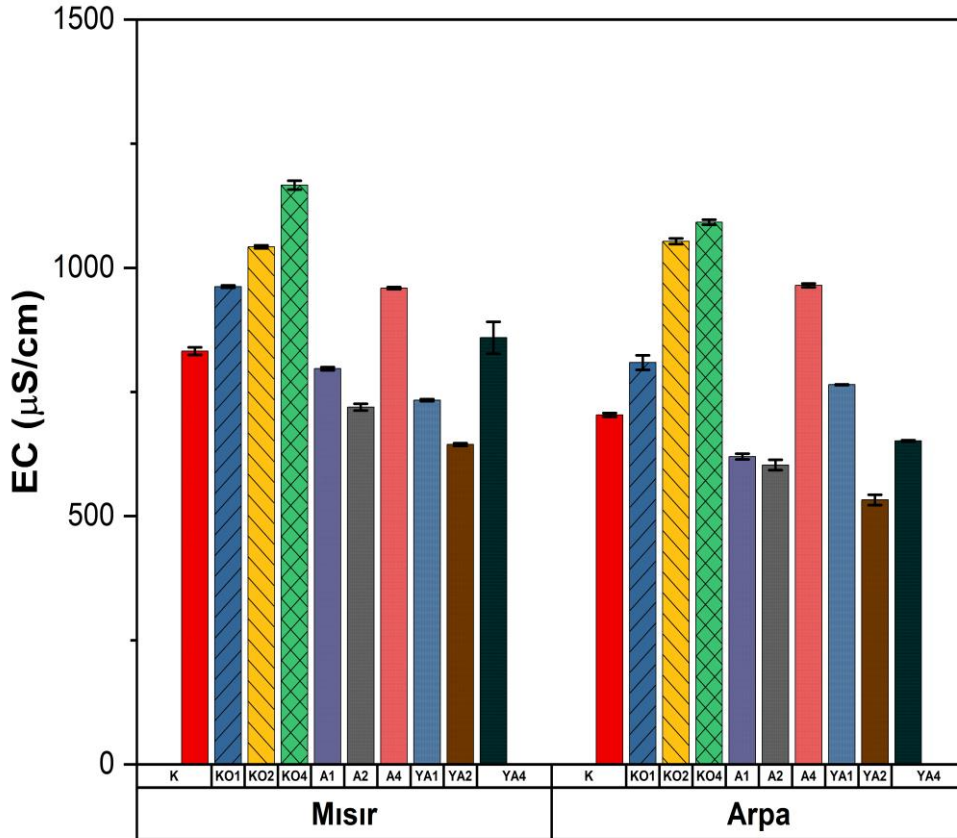
İkinci yıl arpa üretimi yapılan dönemde, ilk yıl olduğu gibi farklı dozlarda uygulanan materyallerin toprak EC değerine etkisi Şekil 4.2’de verilmiştir (Çizelge 4.2). Kompost uygulaması sonucunda parsellerde yapılan EC ölçümlerinde kontrol grubuna göre uygulama dozları arttıkça EC değerleri artmıştır ve bu artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0.001$). Anız uygulaması sonucunda EC ölçümlerinde, 1 ve 2 ton da^{-1} uygulama dozları kontrol grubuna göre azalmış ve uygulama dozları arasındaki farklılık istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Yeşil aksam uygulaması yapılan parsellerde 2 ve 4 ton da^{-1} doz uygulamalarının kontrole göre azaldığı görülmekte ve uygulama dozları arasındaki bu değişim istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Yapılan bir çalışmada farklı iki kompostun toprağa eklenmesi sonucunda toprak EC değerlerinin başlangıç değerlerine kıyasla önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir. Ayrıca, özellikle kompost kaynaklı EC’de meydana gelen bu artışların bitkilerde toksisiteye neden olabileceği yapılan çalışma ile de vurgulanmaktadır (Bewley ve Black, 1994). Dolayısıyla uygulama dozlarının seçiminin önemi bir kez daha öne çıkmaktadır. İsviçre Kompost Tesisleri Derneği (ASCP) Yönergelerine (2001) göre, iletkenlik $<2,5$ mmhos/cm kalırsa kompost bitki büyümesi için güvenli bir şekilde uygulanabilir (Fuchs ve ark., 2008). Çalışmamızda elde edilen EC değerleri belirtilen sınırın altında olması dolayısıyla bitkilerde toksisiteye neden olmamaktadır.

Çizelge 4.2: Kullanılan organik materyallerin arazi deneme toprağının EC değerine etkisi

EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$) Uygulamalar	Mısır			Arpa		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	832 ^{e***}	6.144	± 18.432	704 ^f	2.788	± 8.363
Kompost 1 t da ⁻¹	962 ^c	2.822	± 8.467	809 ^d	5.346	± 16.037
Kompost 2 t da ⁻¹	1042 ^b	1.302	± 3.905	1053 ^b	2.528	± 7.585
Kompost 4 t da ⁻¹	1166 ^a	2.759	± 8.278	1092 ^a	1.832	± 5.495
Anız 1 t da ⁻¹	797 ^f	2.098	± 6.294	620 ^h	3.458	± 10.374
Anız 2 t da ⁻¹	719 ^g	2.599	± 7.796	603 ⁱ	5.289	± 15.867
Anız 4 t da ⁻¹	959 ^c	1.213	± 3.640	965 ^c	2.174	± 6.521
Yeşil Aksam 1 t da ⁻¹	733 ^g	1.518	± 4.555	765 ^e	1.364	± 4.093
Yeşil Aksam 2 t da ⁻¹	644 ^h	1.470	± 4.410	533 ^j	3.223	± 9.670
Yeşil Aksam 4 t da ⁻¹	859 ^d	11.274	± 33.823	652 ^g	1.894	± 5.681
P	***			***		
Skewness	0.384			0.384		
Kurtosis	-0.761			-0.761		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *:P<0.05, **:P<0.01, NS: Önemli, ***:P<0.001
***: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.



Şekil 4.6 EC değerinin mısır ve arpa yetiştirilen dönemlerdeki değişimi

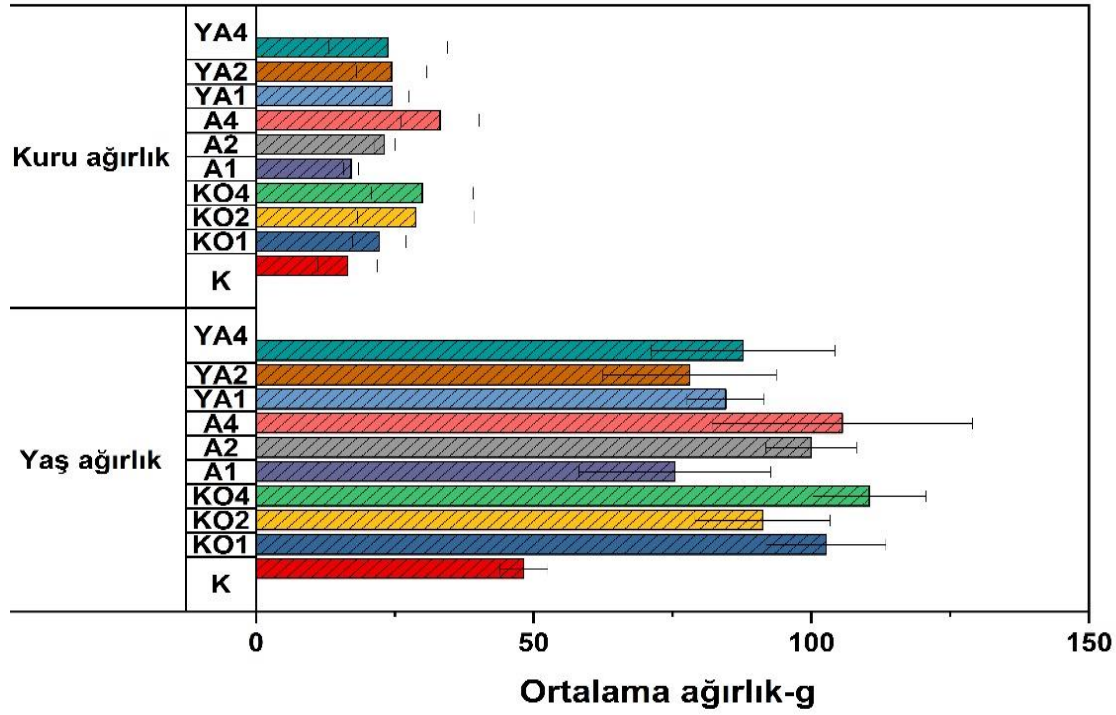
4.3. Uygulamaların Mısır ve Arpa Bitkisinin Kök Yaş Ağırlığı ve Kök Kuru Ağırlıklarına Etkileri

4.3.1. Mısır kök biyokütlesi

Yapılan çalışmada toprağa, farklı dozlarda uygulanan kompost, anız ve yeşil aksam organik materyallerinin mısır üretimi sezonunda hasat edilen mısırın, köklerinin yaş ve kuru ağırlıkları incelenmiş ve bunun sonucunda yapılan uygulama çeşitlerinin kontrol örneklerine kıyasla istatistiki olarak anlamlı fark oluşturduğu görülmektedir (Şekil 4.3).

Kök kuru ağırlığı; en yüksek dozda kompost ve anız uygulaması yapılan parsellerde mısır bitkisinin köklerinin kuru ağırlığı incelendiğinde kontrole göre istatistiki olarak anlamlı farklılıklar bulunmuş, yeşil aksam uygulamasında ise anlamlı farklılık bulunmamıştır ($p < 0.01$). Parsellerde uygulama dozları arttıkça kök kuru ağırlığında artış oldu görülmektedir. Kompost uygulamalarının kontrol grubuna kıyasla 4 ton da^{-1} doz uygulama sonucu istatistiki olarak anlamlı farklılık görülmektedir. Fakat dozların kendi arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır. Anız uygulamasında 4 ton da^{-1} doz uygulama sonucu kontrol grubuna kıyasla istatistiki olarak anlamlı farklılık bulunmuştur. Dozlar arası değerlendirme yapıldığında ise 4 ton da^{-1} doz anız uygulamasının 1 ton da^{-1} doz anız uygulamasına göre anlamlı farklılık oluşturduğu tespit edilmiştir. Yeşil aksam uygulamasının kontrole göre ve 1, 2 ve 4 ton da^{-1} doz uygulamaları arasında istatistiki olarak anlamlı farklılık bulunmamıştır (Çizelge 4.3).

Kök yaş ağırlığı; kompost, anız ve yeşil aksam uygulaması yapılan parsellerde mısır bitkisinin köklerinin yaş ağırlığı ölçülmüş ve kontrol grubuna göre istatistiki olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p < 0.001$). Kompost uygulamalarının 1, 2 ve 4 ton da^{-1} dozlarında yetiştirilen mısır bitkisinin kök yaş ağırlığı kontrol grubuna göre anlamlı farklılık olduğu görülmüştür fakat dozlar arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır. Anız uygulamasında tüm dozlarda yetişen mısır bitkisi kök yaş ağırlığı kontrol grubuna göre anlamlı farklılık oluşturmuştur ve ayrıca dozlar arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır. Yeşil aksam uygulamasında kompost ve anız uygulamalarında olduğu gibi tüm doz uygulamalarının kontrole kıyasla istatistiki olarak anlamlı farklılık oluşturduğu görülmüş ek olarak dozlar arasında anlamlı farklılık bulunmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.3).



Şekil 4.3 Mısır yaş ve kuru kök ağırlık değerleri

Çizelge 4.3: Kullanılan organik materyallerin mısır üretiminde kök yaş ve kuru ağırlığına etkisi

Mısır Uygulamalar	Kuru Ağırlık (g)			Yaş Ağırlık (g)		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	16.52 ^c	2.17634	±5.33092	48.21 ^e	1.77601	±4.35033
Kompost 1 t da ⁻¹	22.20 ^{abc}	1.95450	±4.78754	102.68 ^{abc}	4.39508	±10.76570
Kompost 2 t da ⁻¹	28.75 ^{abc}	4.26842	±10.45545	91.26 ^{a-d}	4.96632	±12.16495
Kompost 4 t da ⁻¹	29.97 ^{ab}	3.74367	±9.17008	110.48 ^a	4.16648	±10.20576
Anız 1 t da ⁻¹	17.12 ^c	0.53251	±1.30437	75.46 ^d	7.06900	±17.31545
Anız 2 t da ⁻¹	23.10 ^{abc}	0.76902	±1.88370	99.98 ^{a-d}	3.33611	±8.17176
Anız 4 t da ⁻¹	33.17 ^a	2.86039	±7.00651	105.58 ^{ab}	9.56907	±23.43935
Yeşil Aksam 1 t da ⁻¹	24.50 ^{abc}	1.26305	±3.09382	84.59 ^{bcd}	2.83629	±6.94747
Yeşil Aksam 2 t da ⁻¹	24.42 ^{abc}	2.60004	±6.36877	78.11 ^{cd}	6.37074	±15.60506
Yeşil Aksam 4 t da ⁻¹	23.77 ^{abc}	4.34907	±10.65300	87.71 ^{a-d}	6.78064	±16.60910
P	**			***		
Skewness	0.728			-0.359		
Kurtosis	-0.25			-0.309		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *:P<0.05, **:P<0.01, NS: Önemli, ***:P<0.001

****: Aynı harfler arasındaki fark istatistik olarak önemli değildir.

4.3.2. Arpa kök biyokütlesi

Çalışma alanında farklı dozlarda kompost, anız ve yeşil aksam uygulaması yapılmış topraklara, ikinci dönemde arpa ekimi yapıldıktan sonra, hasattan önce başaklar

süt olum dönemindeyken kök numuneleri alınmıştır. Alınan arpa köklerinin yaş ve kuru olmak üzere ağırlıkları incelenmiş ve bunun sonucunda kontrol örneklerine kıyasla istatistiki olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.4).

Kök kuru ağırlığı; yapılan kompost, anız ve yeşil aksam uygulamaları sonucunda kontrol grubuna göre arpa bitkisi köklerinin kuru ağırlığında artış olduğu görülmüş fakat bu artış istatistiki olarak anlamlı bulunmamıştır (P: NS).

Kök yaş ağırlığı; yapılan kompost, anız ve yeşil aksam uygulamaları sonucunda kontrol grubuna göre arpa bitkisi köklerinin kuru ağırlığında olduğu gibi arpa kök yaş ağırlığında da artış görülmüş fakat bu artış istatistiki olarak anlamlı bulunmamıştır (Çizelge 4.4).

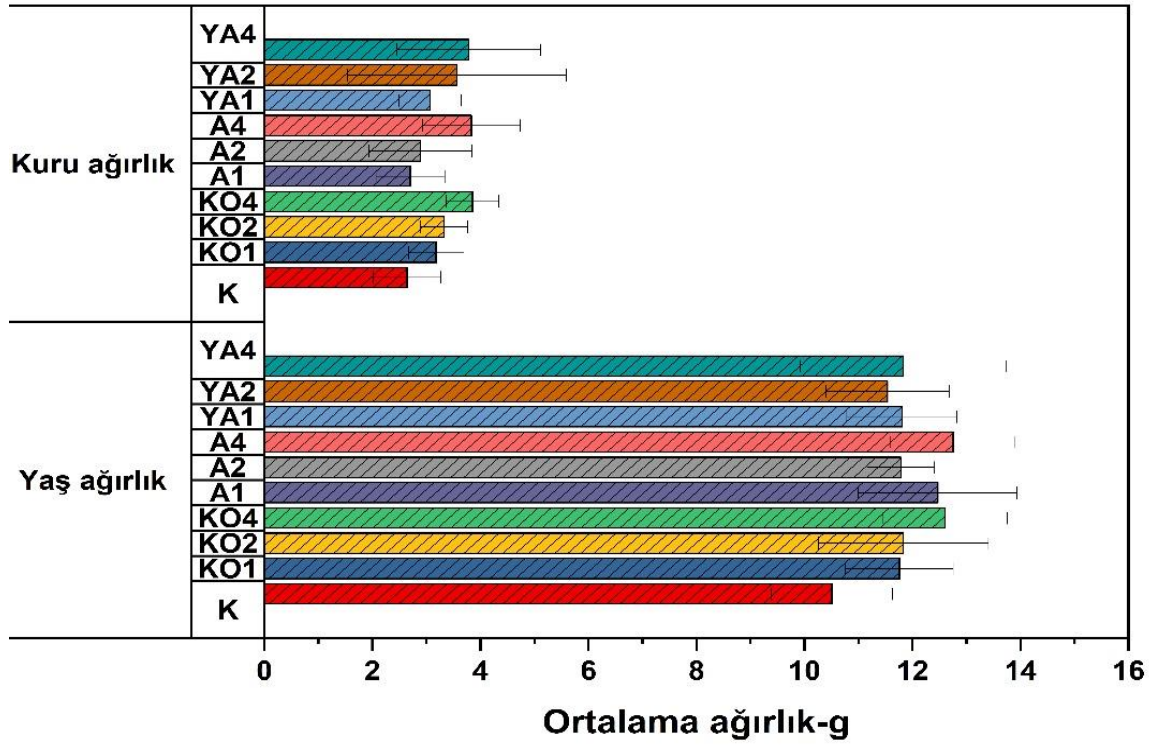
Organik madde uygulaması yapılan bir çalışmada kanola bitkisi yetiştirilmiştir. Yapılan uygulamalar kanola bitkisinin kök ağırlığı üzerinde etkili bulunmuş ve kök kütlelerini artırmıştır (Trinchera ve ark., 2015). Benzer şekilde, benzinle kirlenmiş bir toprağa organik madde uygulaması yapılarak adi fig bitkisi yetiştirilerek sürgün uzunluğu, kök hacmi ve biyokütle verimi gibi bitki büyüme parametrelerini artırarak ürün verimini iyileştirmiştir (Fernández-Luqueño ve ark., 2012). Ek olarak bitki ve/veya hayvan kaynaklı organik kalıntıların uygulanması kök büyümesini, kök sayısını ve kök kuru ağırlığını etkilemektedir (Giorgi ve ark., 2008).

Çizelge 4.4: Kullanılan organik materyallerin arpa üretiminde kök yaş ve kuru ağırlığına etkisi

Arpa Uygulamalar	Kuru Ağırlık (g)			Yaş Ağırlık (g)		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	2.64 ^{NS}	0.25509	±0.62485	10.51 ^{NS}	0.45864	±1.12343
Kompost 1 t da ⁻¹	3.52 ^{NS}	0.34412	±0.84293	11.76 ^{NS}	0.40629	±0.99520
Kompost 2 t da ⁻¹	3.33 ^{NS}	0.17975	±0.44031	11.83 ^{NS}	0.64330	±1.57577
Kompost 4 t da ⁻¹	3.85 ^{NS}	0.19926	±0.48807	12.61 ^{NS}	0.46854	±1.14768
Anız 1 t da ⁻¹	2.70 ^{NS}	0.25989	±0.63659	12.47 ^{NS}	0.60054	±1.47101
Anız 2 t da ⁻¹	2.89 ^{NS}	0.38755	±0.94929	11.79 ^{NS}	0.25430	±0.62291
Anız 4 t da ⁻¹	3.83 ^{NS}	0.37067	±0.90795	12.75 ^{NS}	0.47045	±1.15236
Yeşil Aksam 1 t da ⁻¹	3.07 ^{NS}	0.23610	±0.57833	11.81 ^{NS}	0.41656	±1.02037
Yeşil Aksam 2 t da ⁻¹	3.57 ^{NS}	0.82556	±2.02221	11.54 ^{NS}	0.46519	±1.13949
Yeşil Aksam 4 t da ⁻¹	3.79 ^{NS}	0.54478	±1.33444	11.83 ^{NS}	0.78118	±1.91349
P	NS			NS		
Skewness	0.894			-0.079		
Kurtosis	0.865			-1.046		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *:P<0.05, **:P<0.01, NS: Önemsiz, ***:P<0.001

****: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.



Şekil 4.4 Arpa yaş ve kuru kök ağırlık değerleri

4.4. Uygulamaların Atterberg Kıvam Limitlerine Etkisi

Atterberg limitleri, özellikle likit limit (LL) ve plastik limit (PL), toprak mekaniğinde toprakların plastisitesini ve kıvamını yansıtan kritik parametrelerdir. Likit limit, toprağın plastik davranış göstermeye başladığı nem düzeyini ifade eder ve özellikle kil içeriği yüksek topraklarda mühendislik ve tarım açısından önemli bir parametredir. Toprağın yapısal stabilitesi, su tutma kapasitesi ve işlenebilirliği üzerinde belirleyici etkileri vardır. Plastik limit, toprağın plastiklik sınırlarını ve işlenebilirliğini belirleyen bir mühendislik parametresidir. Tarımsal açıdan bu limit, toprağın su içeriğine bağlı olarak ne zaman işlenebilir olacağını gösterir ve özellikle kil içeriği yüksek topraklarda önemlidir.

Çalışmamız kapsamında mısır ve arpa üretiminde toprağa uygulanan kompost, anız ve yeşil aksam uygulamalarının farklı dozlarının (1, 2 ve 4 ton da⁻¹) likit limit, plastik limit ve plastiklik indeks değerleri üzerine etkisi incelenmiştir.

4.4.1. Uygulamaların likit limit değerine etkileri

İlk yıl mısır üretim döneminde, hasat sonrası tüm parsellerden toprak örnekleri alınmıştır. Uygulamaların tüm dozlarında kontrol değerlerine göre doz arttıkça LL değerlerinde artış görülmüştür (Çizelge 4.5). Fakat bu artış kompost, anız ve yeşil aksam uygulamalarında kontrole göre istatistiki olarak anlamlı farklılık bulunmamıştır (P: NS).

İkinci yıl arpa üretim döneminde, parsellerden alınan toprak numunelerinde LL değerleri ölçülmüştür. Kompost, anız ve yeşil aksam uygulamalarının dozlarının artmasıyla LL değerlerinde artış görülmüştür (Çizelge 4.5). Fakat bu artış kompost, anız ve yeşil aksam uygulamalarında kontrole göre istatistiki olarak anlamlı farklılık bulunmamıştır (P: NS).

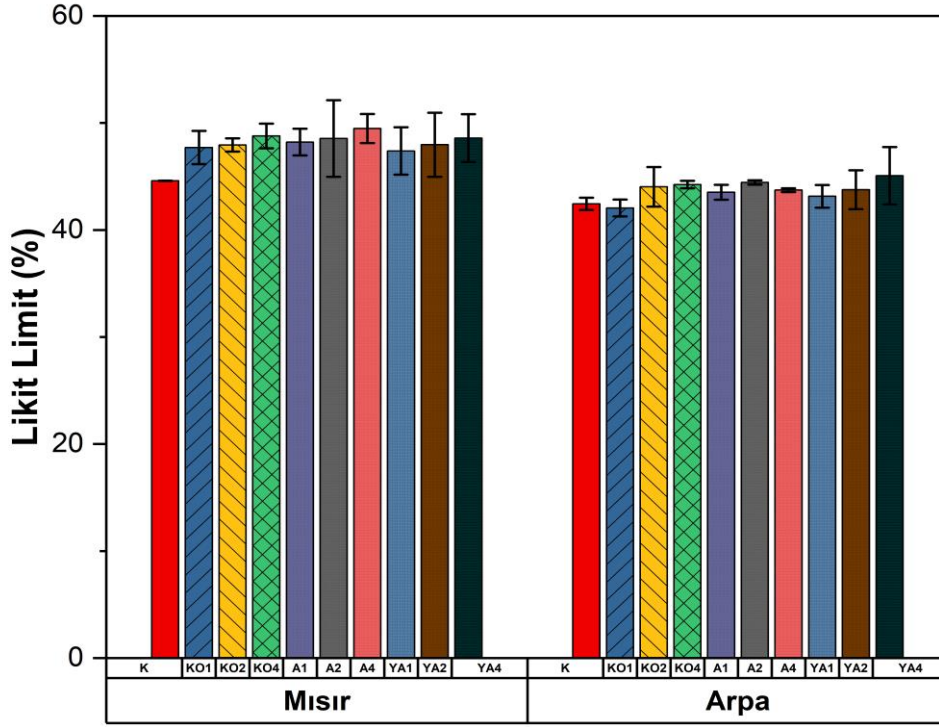
Her iki yetiştirme döneminde de organik materyal uygulamaları LL değerini artırmıştır. Bu artış, su tutma kapasitesinin artması, kil partiküllerinin şişme potansiyeli ve toprak yapısının organik maddelerce güçlendirilmesi ile ilişkilidir.

Çizelge 4.5: Kullanılan organik materyallerin likit limit değerine etkileri

Likit Limit (%) Uygulamalar	Mısır		Arpa			
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	44.59 ^{NS}	0.00654	±0.01601	42.43 ^{NS}	0.21145	±0.51794
Kompost 1 t da ⁻¹	47.70 ^{NS}	0.56571	±1.38571	42.05 ^{NS}	0.28840	±0.70643
Kompost 2 t da ⁻¹	47.94 ^{NS}	0.22709	±0.55626	44.03 ^{NS}	0.67735	±1.65916
Kompost 4 t da ⁻¹	48.79 ^{NS}	0.42248	±1.03486	44.24 ^{NS}	0.12616	±0.30902
Anız 1 t da ⁻¹	48.21 ^{NS}	0.45553	±1.11582	43.52 ^{NS}	0.25308	±0.61991
Anız 2 t da ⁻¹	48.55 ^{NS}	1.30604	±3.19914	44.44 ^{NS}	0.07589	±0.18590
Anız 4 t da ⁻¹	49.48 ^{NS}	0.49599	±1.21493	43.72 ^{NS}	0.06282	±0.15387
Yeşil Aksam 1 t da ⁻¹	47.38 ^{NS}	0.80697	±1.97666	43.15 ^{NS}	0.38635	±0.94636
Yeşil Aksam 2 t da ⁻¹	47.96 ^{NS}	1.09295	±2.67716	43.76 ^{NS}	0.66077	±1.61856
Yeşil Aksam 4 t da ⁻¹	48.59 ^{NS}	0.81575	±1.99818	45.07 ^{NS}	0.97855	±2.39694
P	NS			NS		
Skewness	-0.411			0.854		
Kurtosis	-0.894			1.682		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *:P<0.05, **:P<0.01, NS: Önemsiz, ***:P<0.001

****: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.



Şekil 4.5 Likit limit değerinin mısır ve arpa ürün rotasyonunda dozlara göre değişimi

4.4.2. Uygulamaların plastik limit değerine etkileri

Farklı dozlarda kompost, anız ve yeşil aksam uygulamaları yapılan araziye mısır ve arpa yetiştiriciliği yapılması ile plastik limit (PL) sonuçları değerlendirilmiştir (Çizelge 4.6).

Mısır üretim döneminde uygulama materyallerinin dozu arttıkça PL değerlerinde artış görülmüş fakat bu artış, PL değerinin mısır üretim döneminde kontrol grubuna göre istatistiki olarak önemli bulunmamıştır.

Arpa üretim sezonunda alınan numunelerin PL değerleri, uygulama dozlarının artması ile artmıştır ($P < 0.001$). Kompost uygulamalarının PL değerleri kontrol grubuna kıyasla 2 ve 4 ton da^{-1} doz uygulamalarında istatistiki olarak önemli farklılıklar oluşturmuş ve uygulama dozları arasında istatistiki olarak önemli farklılık bulunmamıştır. Anız uygulamalarının PL değerleri kontrole göre 2 ve 4 ton da^{-1} doz uygulamalarında istatistiki olarak anlamlı farklılık oluşturmuştur. Anız uygulamasının dozları arasında, 4 ton da^{-1} doz uygulama 1 ton da^{-1} doz uygulamaya göre anlamlı farklılık oluşturmuştur.

Yeşil aksam uygulaması kontrol grubuna göre 4 ton da⁻¹ doz uygulamada istatistiki olarak anlamlı farklılık bulunmuştur. Yeşil aksam uygulaması dozları arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır (Şekil: 4.6).

Her iki üretim döneminde de organik materyallerin artan oranlarda uygulanması, PL değerini yükseltmiş, böylece toprakların işlenebilir nem aralığı uzamıştır. En yüksek PL değerleri, kompost 2 ve 4 ton da⁻¹ doz uygulamalarında gözlenmiştir. Bu durum, organik materyallerin toprağın fiziksel yapısını güçlendirdiğini, su tutma kapasitesini artırdığını ve plastiklik özelliklerini olumlu etkilediğini ortaya koymaktadır. Aynı zamanda kısa vadeli etkilerde yeşil aksam, orta–uzun vadede kompost ve anız uygulamaları daha stabil fayda sağlamıştır.

Çizelge 4.6: Kullanılan organik materyallerin plastik limit değerine etkileri

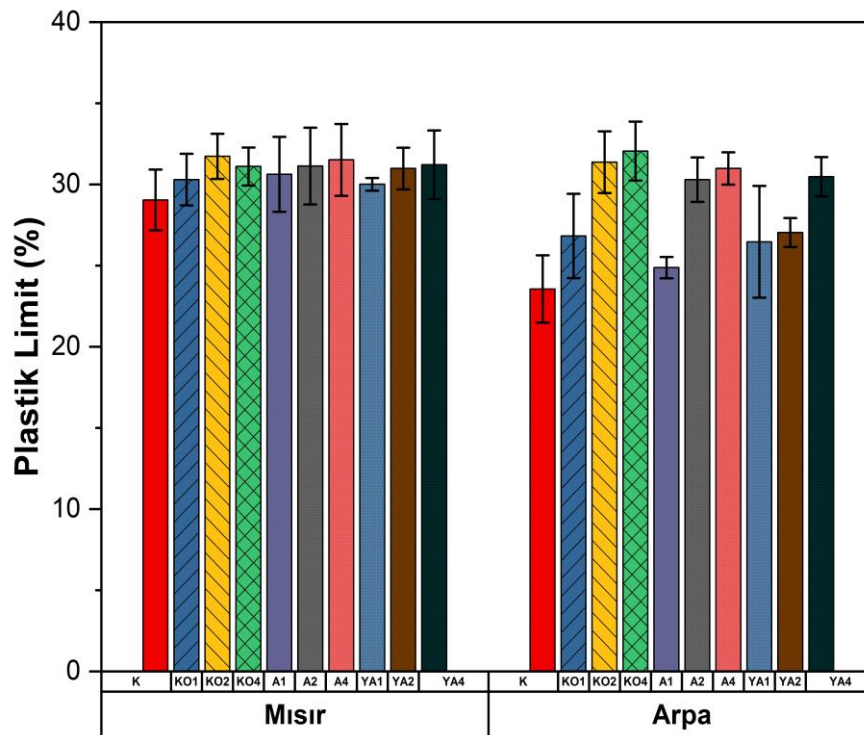
Plastik Limit (%) Uygulamalar	Mısır			Arpa		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	29.04 ^{NS}	0.68432	±1.67623	23.55 ^c	0.75853	±1.85801
Kompost 1 t da ⁻¹	30.29 ^{NS}	0.58048	±1.42189	26.82 ^{abc}	0.94787	±2.32179
Kompost 2 t da ⁻¹	31.73 ^{NS}	0.50708	±1.24209	31.37 ^a	0.69479	±1.70189
Kompost 4 t da ⁻¹	31.10 ^{NS}	0.42757	±1.04733	32.05 ^a	0.66240	±1.62254
Anız 1 t da ⁻¹	30.62 ^{NS}	0.84266	±2.06409	24.88 ^{bc}	0.24123	±0.59089
Anız 2 t da ⁻¹	31.13 ^{NS}	0.86212	±2.11176	30.29 ^{ab}	0.49921	±1.22281
Anız 4 t da ⁻¹	31.51 ^{NS}	0.80804	±1.97928	30.98 ^a	0.36526	±0.89470
Yeşil Aksam 1 t da ⁻¹	30.01 ^{NS}	0.14204	±0.34792	26.46 ^{abc}	1.25869	±3.08314
Yeşil Aksam 2 t da ⁻¹	30.98 ^{NS}	0.46784	±1.14597	27.03 ^{abc}	0.32647	±0.79968
Yeşil Aksam 4 t da ⁻¹	31.21 ^{NS}	0.77195	±1.89087	30.48 ^{ab}	0.44074	±1.07958
P	*			***		
Skewness	0.214			-0.352		
Kurtosis	-0.600			-0.848		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *:P<0.05, **:P<0.01, NS: Önemsiz, ***:P<0.001

****: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.

Araştırmalar, organik içerik arttıkça Atterberg limitlerinin genellikle su içeriği, LL ve PL'de buna karşılık gelen bir artış gösterdiğini, özgül ağırlık ve hacim ağırlığının ise azalma gösterdiğini belirlemişlerdir (Huang ve ark., 2009). Bu ilişki, organik maddenin toprakların fiziksel özelliklerini değiştirmedeki önemli rolünün altını çizmektedir. Organik maddenin türü ve ayrışma derecesi, toprağın mukavemeti ve sıkıştırılabilirliği de dahil olmak üzere mekanik özelliklerini belirlemede çok önemlidir (Huang ve ark., 2009). Keller ve Dexter (2012) ihmal edilebilir miktarda organik madde içeren toprakların plastik olabilmesi için en az %10 kil içeriğine sahip olması gerektiğini belirtmiştir. Ancak, organik madde mevcutsa, bu değer daha düşük olabilir.

Farklı tekstürlerde (kumlu tın, tın ve killi toprak) yapılan bir çalışmada toprağa uygulanan organik materyalin kıvam limitleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda uygulanan materyalin dozu arttıkça toprakların optimum nem içeriği artarken maksimum kuru hacim ağırlığı azalmıştır. Optimum nem içeriğinin artması ile LL ve PL değerleride artırmıştır (Sari ve ark., 2017). Vermikompost olarak kullanılan organik materyallerin su tutma kapasiteleri nedeniyle toprak nem içeriğini artırması nedeniyle hem LL hem de PL değerlerinde artış belirlenmiştir (Bhushan ve Sharma, 2002).



Şekil 4.6 Plastik limit değerinin mısır ve arpa ürün rotasyonunda dozlara göre değişimi

4.4.3. Uygulamaların plastiklik indeksi değerine etkisi

Plastiklik indeksi (PI), toprağın LL ile PL arasındaki farkı ifade eder ve toprağın plastiklik derecesini, yani şekil verilebilir su aralığını belirler.

Mısır ve arpa bitkilerinin yetiştirildiği dönemlerde kompost, anız ve yeşil aksam uygulamalarının sonucunda PI değerlerinin değişimleri incelenmiştir. Mısır üretimi döneminde PI değerlerinde kompost, anız ve yeşil aksam uygulamaları sonucundaki

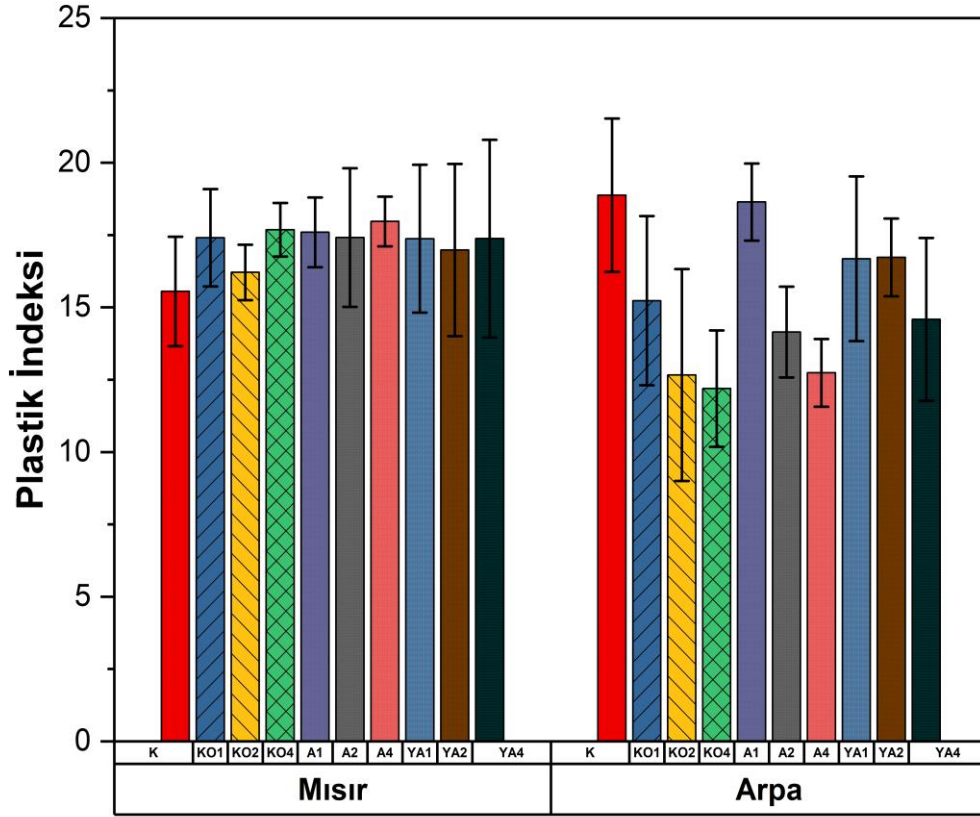
değerler istatistiksel olarak fark önemli değildir. Kompost, anız ve yeşil aksam uygulamaları arpa üretim döneminde Pİ üzerinde her bir uygulama çeşidinin kontrole kıyasla farkları istatistiksel olarak önemli değildir.

Pİ değeri ne kadar yüksekse, toprak o kadar geniş bir nem aralığında plastik özellik gösterir. Bu, özellikle tarla işlenebilirliği ve toprak stabilitesi açısından önemli bir parametredir.

Çizelge 4.7: Kullanılan organik materyallerin plastiklik indek değerine etkileri

Plastiklik indeksi Uygulamalar	Mısır			Arpa		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	15.55 ^{NS}	0.69025	±1.69077	18.88 ^{NS}	0.96855	±2.37246
Kompost 1 t da ⁻¹	17.41 ^{NS}	0.61478	±1.50589	15.23 ^{NS}	1.06791	±2.61583
Kompost 2 t da ⁻¹	16.21 ^{NS}	0.34952	±0.85615	12.66 ^{NS}	1.33750	±3.27620
Kompost 4 t da ⁻¹	17.68 ^{NS}	0.33803	±0.82801	12.19 ^{NS}	0.73509	±1.80059
Anız 1 t da ⁻¹	17.60 ^{NS}	0.44080	±1.07973	18.64 ^{NS}	0.48716	±1.19330
Anız 2 t da ⁻¹	17.41 ^{NS}	0.87514	±2.14366	14.15 ^{NS}	0.57322	±1.40410
Anız 4 t da ⁻¹	17.97 ^{NS}	0.31281	±0.76622	12.74 ^{NS}	0.42808	±1.04857
Yeşil Aksam 1 t da ⁻¹	17.37 ^{NS}	0.93308	±2.28558	16.68 ^{NS}	1.04038	±2.54841
Yeşil Aksam 2 t da ⁻¹	16.99 ^{NS}	1.08688	±2.66229	16.73 ^{NS}	0.49098	±1.20264
Yeşil Aksam 4 t da ⁻¹	17.38 ^{NS}	1.24863	±3.05851	14.59 ^{NS}	1.02741	±2.51662
P	NS			***		
Skewness	-0.084			-0.063		
Kurtosis	-0.444			-0.561		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *:P<0.05, **:P<0.01, NS: Önemsiz, ***:P<0.001
***: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.



Şekil 4.7 Plastiklik indeksinin mısır ve arpa ürün rotasyonunda uygulama dozlarına göre değişimi

4.5. Uygulamaların Mısır ve Arpa Yetiştiriciliğinde Hacim Ağırlığına (Pb) Etkisi

Araziye uygulanan 1, 2 ve 4 ton da^{-1} dozlarda kompost, anız ve yeşil aksam uygulaması yapılarak arpa ve mısır ekilen parsellerde traktör trafiğine maruz kalmış (sıkışmış) ve traktörün geçmediği (sıkışmamış) alanlardan ayrı ayrı numuneler alınıp hacim ağırlıkları (Pb) karşılaştırılmıştır.

4.5.1. Mısır yetiştiriciliği döneminde sıkışmış ve sıkışmamış alanlarda Pb etkisi

Mısır yetiştiriciliği yapılan ilk yılda parsellerin sıkışmış ve sıkışmamış alanlarından alınan toprak örneklerinde Pb ölçümlerinin anız, yeşil aksam ve kompost uygulamalarının arasında anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p < 0.001$). Kontrol parsellerinde sıkışmış toprakta Pb, sıkışmamış toprakta ölçülen Pb değerinden %6.4 daha

fazla ölçülmüştür. Bu herhangi bir organik madde uygulanmayan topraklarda mekanik sıkışmanın Pb'yi artırdığını ortaya koymaktadır (Çizelge4.8).

Sıkışmış alan; ölçümlerinde Pb değerlerinde, kompost uygulamasının en yüksek dozu olan 4 ton da⁻¹ doz uygulama kontrole göre istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0.001). Diğer kompost uygulama dozlarında anlamlı farklılık görülmemiştir. Anız uygulaması sonucunda kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmamaktadır. Yeşil aksam uygulamasında ise 4 ton da⁻¹ doz uygulaması kontrole kıyasla istatistiksel olarak anlamlı farklılık oluşturmuştur (Şekil 4.8).

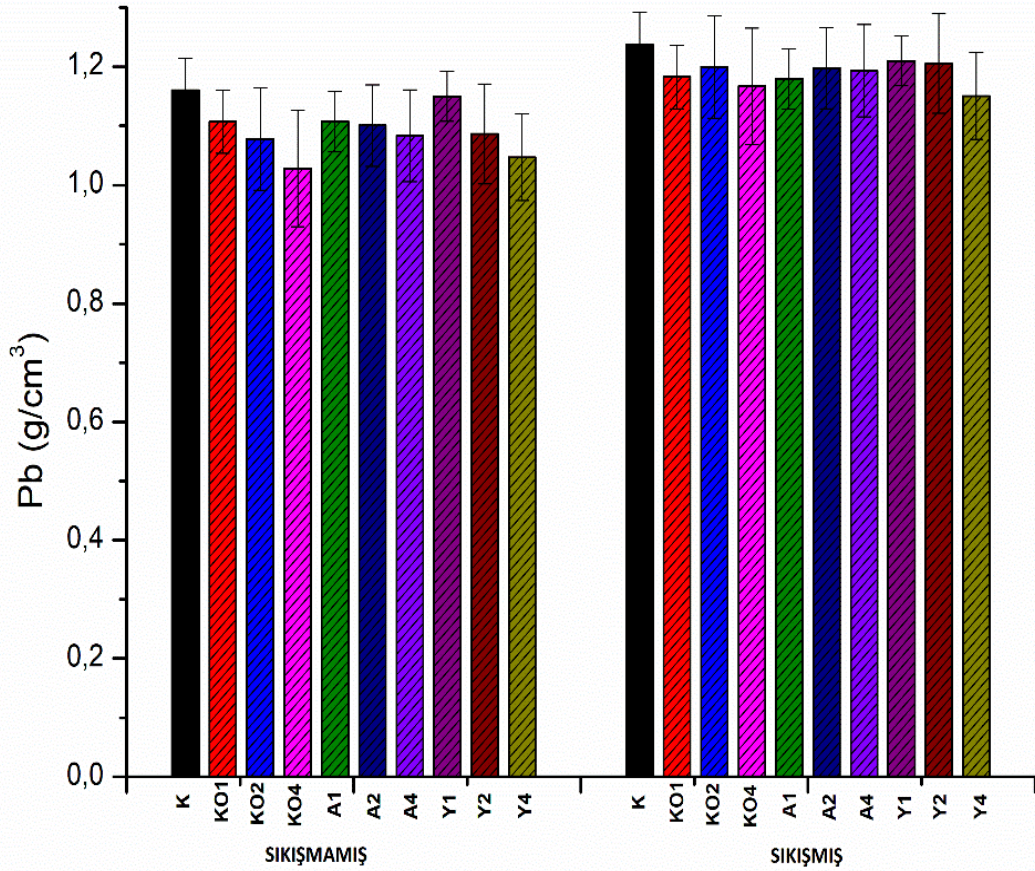
Sıkışmamış alan; parsellerde yapılan Pb değerlendirilmesi kompost, anız ve yeşil aksam uygulamaları arasında anlamlı farklılık oluşturmuştur (p<0.001). Kompost uygulamasında 1 ton da⁻¹ doz uygulama kontrol grubuna göre anlamlı bir farklılık oluşturmamış iken 2 ve 4 ton da⁻¹ dozlar kontrol grubuna göre anlamlı farklılık oluşturmuştur. Kompost uygulaması dozları arasında 4 ton da⁻¹ doz uygulama 1 ton da⁻¹ uygulama dozuna göre anlamlı farklılık elde edilmiştir. Anız uygulaması sonucunda 1 ve 2 ton da⁻¹ doz uygulamaları kontrol grubuna göre anlamlı farklılık oluşturmamış, 4 ton da⁻¹ doz uygulaması istatistiki olarak önemli farklılık oluşturmuştur. Ayrıca anız uygulama dozları arasındaki artış anlamlı bulunmamıştır. Yeşil aksam 2 ve 4 ton da⁻¹ doz uygulamaları, 1 ton da⁻¹ doz uygulama ve kontrol grubuna göre farkı istatistiki olarak önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.8: Kullanılan organik materyallerin mısır üretiminde sıkışmış ve sıkışmamış alanda Pb değerine etkileri

Mısır Uygulamalar	Sıkışmış Pb (g cm ⁻³)			Sıkışmamış Pb (g cm ⁻³)		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	1.24 ^b	0.00887	±0.02173	1.16 ^c	0.01233	±0.03020
Kompost 1 t da ⁻¹	1.18 ^{ab}	0.01211	±0.02966	1.11 ^{bc}	0.01301	±0.03187
Kompost 2 t da ⁻¹	1.20 ^{ab}	0.02138	±0.05237	1.08 ^{ab}	0.01574	±0.03856
Kompost 4 t da ⁻¹	1.17 ^a	0.01227	±0.03005	1.03 ^a	0.01456	±0.03565
Anız 1 t da ⁻¹	1.18 ^{ab}	0.02086	±0.05109	1.11 ^{bc}	0.01093	±0.02678
Anız 2 t da ⁻¹	1.20 ^{ab}	0.01023	±0.02506	1.10 ^{bc}	0.01038	±0.02542
Anız 4 t da ⁻¹	1.19 ^{ab}	0.01430	±0.03502	1.08 ^{ab}	0.00615	±0.01506
Yeşil Aksam 1 t da ⁻¹	1.21 ^{ab}	0.01155	±0.02828	1.15 ^c	0.01528	±0.03742
Yeşil Aksam 2 t da ⁻¹	1.21 ^{ab}	0.01184	±0.02900	1.09 ^{ab}	0.00585	±0.01432
Yeşil Aksam 4 t da ⁻¹	1.15 ^a	0.01291	±0.03163	1.05 ^{ab}	0.02000	±0.04899
P	***			***		
Skewness	0.01			-0.063		
Kurtosis	-1.150			0.217		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *:P<0.05, **:P<0.01, NS: Önemsiz, ***:P<0.001

***: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.



Şekil 4.8 Uygulamaların mısır ekili alanda sıkışmış ve sıkışmamış örneklerin kuru hacim ağırlığına etkisi

4.5.2. Arpa yetiştiriciliği döneminde sıkışmış ve sıkışmamış alanlarda Pb etkisi

İkinci yıl arpa yetiştiriciliğinin yapıldığı dönemde, parsellerin sıkışmış ve sıkışmamış alanlarından alınan toprak örneklerinde Pb ölçümleri değerlendirilmiştir. Kompost, anız ve yeşil aksam uygulamaları kontrol grubunakıyasla anlamlı farklılıklar oluşturmuştur ($p < 0.001$). Kontrol parsellerinde sıkışmış toprakta Pb, sıkışmamış toprakta ölçülen Pb değerinden %5.3 daha fazla ölçülmüştür.

Sıkışmış alan; ölçümlerinde kompost uygulamasında Pb değeri incelendiğinde 1, 2 ve 4 ton da^{-1} doz uygulamaları kontrol grubuna göre anlamlı farklılıklara sebep olmuştur ($p < 0.001$). Anız uygulamasında da 1, 2 ve 4 ton da^{-1} doz uygulamaları kontrol grubuna göre anlamlı farklılıklara sebep olmuştur ($p < 0.01$). Yeşil aksam uygulamasında kompost ve anız uygulamaları ile paralel sonuçlar elde edilmiştir. Aynı şekilde 1, 2 ve 4 ton da^{-1}

doz yeşil aksam uygulamalarını kontrole göre anlamlı farklılık oluşturmuş olmasına rağmen dozların kendi içerisindeki artışı istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (Çizelge 4.9).

Sıkışmamış alan; Pb ölçümleri incelendiğinde kompost, anız ve yeşil aksam uygulamalarının değerlendirilmesi ile anlamlı farklılıklar gözlemlenmiştir ($p < 0.001$). Kompost uygulamasında 1, 2 ve 4 ton da^{-1} doz uygulamaları kontrol grubuna göre anlamlı farklılık oluşturmuştur. Bununla birlikte kompost uygulama dozları arasındaki artış Pb değerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları bulunmamıştır. Anız uygulamasında da yine tüm uygulama dozları kontrol grubuna göre anlamlı farklılık oluşturmuştur. Anız uygulamasında 4 ton da^{-1} doz, 1 ve 2 ton da^{-1} uygulama dozlarına göre anlamlı farklılık oluşturmuştur. Yeşil aksam uygulaması da kompost ve anız uygulamaları gibi en düşük dozda bile anlamlı farklılık oluşturmuş ancak dozlar arasındaki değişim anlamlı farklılıklara sebep olmamıştır (Şekil 4.9).

Çizelge 4.9: Kullanılan organik materyallerin arpa üretiminde sıkışmış ve sıkışmamış alanda Pb değerine etkileri

Arpa Uygulamalar	Sıkışmış Pb ($g\ cm^{-3}$)			Sıkışmamış Pb ($g\ cm^{-3}$)		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	1.30 ^e	0.00342	± 0.00839	1.23 ^e	0.00808 ^e	± 0.01978
Kompost 1 t da^{-1}	1.17 ^{abc}	0.00766	± 0.01877	1.13 ^{abc}	0.00701 ^{abc}	± 0.01717
Kompost 2 t da^{-1}	1.17 ^{a-d}	0.00970	± 0.02377	1.12 ^{ab}	0.00470 ^{ab}	± 0.01151
Kompost 4 t da^{-1}	1.14 ^a	0.01095	± 0.02682	1.10 ^{ab}	0.01517 ^{ab}	± 0.03716
Anız 1 t da^{-1}	1.17 ^{a-d}	0.00317	± 0.00776	1.14 ^{bcd}	0.00180 ^{cd}	± 0.00442
Anız 2 t da^{-1}	1.18 ^{bcd}	0.00479	± 0.01173	1.14 ^{bcd}	0.00695 ^{bcd}	± 0.01702
Anız 4 t da^{-1}	1.16 ^{ab}	0.00338	± 0.00828	1.09 ^a	0.00949 ^a	± 0.02324
Yeşil Aksam 1 t da^{-1}	1.20 ^d	0.00518	± 0.01269	1.17 ^d	0.01020 ^d	± 0.02500
Yeşil Aksam 2 t da^{-1}	1.19 ^{bcd}	0.00975	± 0.02389	1.14 ^{bcd}	0.00426 ^{bcd}	± 0.01044
Yeşil Aksam 4 t da^{-1}	1.20 ^{cd}	0.00689	± 0.01687	1.16 ^{cd}	0.00539 ^{cd}	± 0.01321
p	***			***		
Skewness	1.463			0.698		
Kurtosis	2.134			1.043		

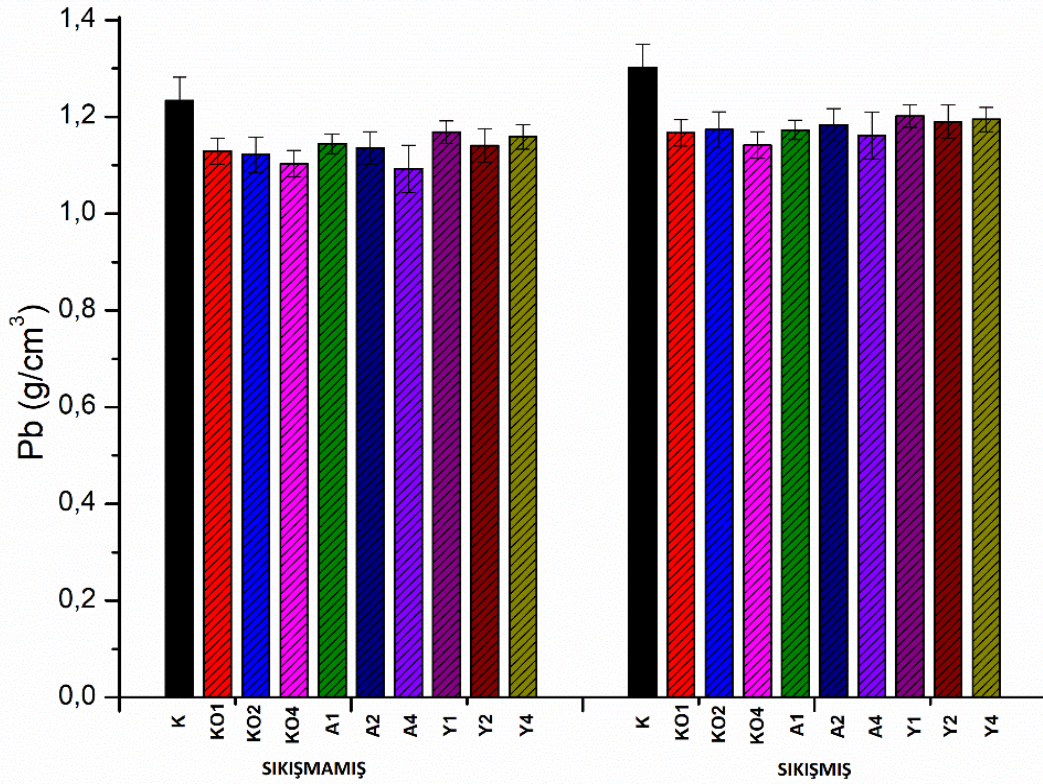
SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$, NS: Önemli değil, ***: $P < 0.001$

****: Aynı harfler arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır.

Genel olarak, organik materyal uygulamaları toprakta Pb'yi azaltma eğilimindedir; bu durum toprağın fiziksel yapısının iyileştiğini ve gözenekliliğin arttığını göstermektedir. Toprağa uygulanan organik materyallerin uygulama dozlarının artması ile Pb azalmıştır. Bunun sebebi uygulanan materyallerin ağırlıkça hafif olmasıdır. Kolay ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada, farklı dozlarda leonardit uygulamalarının toprak Pb'si üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışma alanında, organik madde miktarının

artmasıyla Pb'nin azalmasını ve bu durumun toprağın nemi üzerinde olumlu etkiler oluşturduğunu belirlemişlerdir.

Kil içeriği yüksek bir alanda yapılan yapılan çalışmada, topraklara çiftlik gübresi ve yeşil gübre uygulaması yapılmıştır. Uygulama sonrası traktör trafiği oluşturularak penetrasyon direnci (PD), Pb ve P değerleri incelenmiştir. Tarla trafiği sonrası Pb ve PD değerlerinde kontrole göre artış meydana gelirken P değerinde azalma görüldüğü bildirilmiştir. Yeşil gübreleme ve kompostlaştırılmış çiftlik gübresi uygulamalarının en iyi Pb ve PD değerleri çiftlik gübresi uygulamalarında belirlenmiştir (Mujdeci ve ark., 2017).



Şekil 4.9 Uygulamaların arpa ekili alanda sıkışmış ve sıkışmamış örneklerin kuru hacim ağırlığına etkisi

4.6. Uygulamaların Mısır ve Arpa Yetiştiriciliğinde Dozlara Göre Gözenekliliğe (P) Etkisi

Parsellere uygulanan 1, 2 ve 4 ton da^{-1} lık dozlarda kompost, anız ve yeşil aksam uygulaması yapılan, sıkışmış ve sıkışmamış alanlardan alınan toprak numunelerinde mısır üretim dönemi ve arpa üretim döneminde ayrı ayrı gözeneklilik (P) değerleri belirlenmiştir. Toplam P, toprakta hava ve suyun hareketi ile bitki köklerinin gelişimi açısından kritik öneme sahiptir.

4.6.1. Mısır yetiştiriciliği döneminde sıkışmış ve sıkışmamış alanlarda P etkisi

İlk yıl mısır üretimi yapılan dönemde toprakların sıkışmış ve sıkışmamış alanlardan alınan toprak örneklerinden elde edilen P değerleri 1, 2 ve 4 ton da^{-1} lık dozlarda kompost, anız ve yeşil aksam uygulanmasının sonucunda artış olduğu görülmektedir (Şekil 4.10). Kontrol grubunda sıkışmamış alanda elde edilen P değeri, sıkışmış alanda elde edilen P değeri ile karşılaştırıldığında %5.15 oranında azalma görülmüştür.

Sıkışmamış alanda; yapılan ölçümlerde öncelikle kompost uygulaması yapılan parsellerde kontrol grubuna göre 2 ve 4 ton da^{-1} doz uygulamaların P değeri istatistiki olarak anlamlı farklılık oluşturmuştur ($p<0.001$). Kompost uygulama dozları arasında ise 4 ton da^{-1} doz kompost uygulaması 1 ton da^{-1} doz kompost uygulamasına göre anlamlı farklılık oluşturmuştur. Anız uygulaması yapılan parsellerde 4 ton da^{-1} doz uygulamada P değeri kontrol grubuna göre anlamlı farklılık oluşturmuş fakat dozlar arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır. Yeşil aksam uygulamasında elde edilen P değeri kontrol grubuna ve 1 ton da^{-1} doz yeşil aksam uygulamasına göre 2 ve 4 ton da^{-1} doz uygulamalar istatistiki olarak anlamlı farklılık oluşturmuştur (Çizelge 4.10).

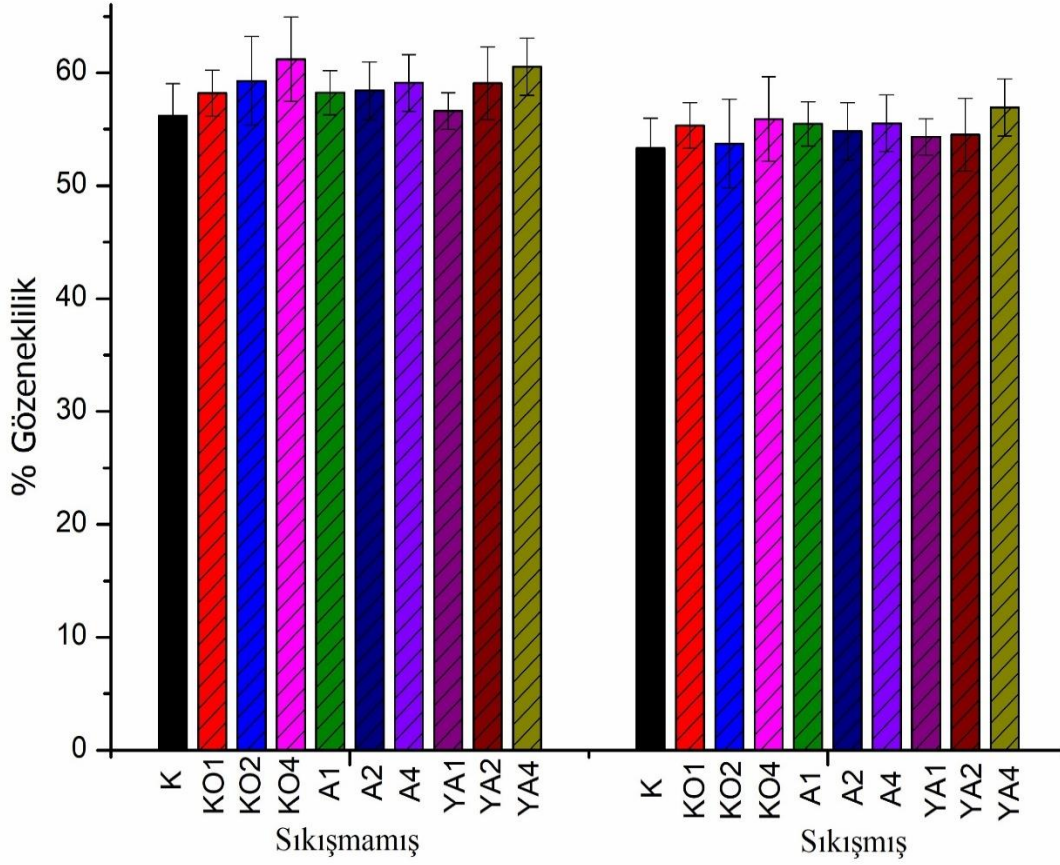
Sıkışmış alanda; yapılan değerlendirmede kompost, anız ve yeşil aksam uygulamalarında doz değeri arttıkça P değerinde kontrol değerine göre artışlar görülmektedir. Kompost uygulamasını ve anız uygulaması sonucunda P değerinde kontrol grubuna göre anlamlı farklılık görülmemiştir ($p<0.01$). Ayrıca dozlar arası değişim istatistiksel olarak önemli değildir. Yeşil aksam uygulaması sonucunda P değerinde 4 ton da^{-1} doz uygulama kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı farklılık oluşturmuş fakat dozlar arası değerlendirmede anlamlı farklılık görülmemiştir (Çizelge 4.10).

Bu değerler, kompostun fiziksel yapı iyileştirici etkisinin hem sıkışmış hem de sıkışmamış topraklarda etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle sıkışmamış toprakta kontrol değerine göre yaklaşık %8.9'luk bir artış sağlanmıştır. Kompostun yüksek organik madde içeriği ve agregat stabilitesini artırıcı etkisi bu sonucu açıklamaktadır (Soenne ve ark., 2023). Anız uygulamaları, P'yi artırmakla birlikte kompost kadar güçlü bir etki göstermemiştir. Yavaş ayrışan yapısı nedeniyle anızın toprakta yapısal etki oluşturması zaman almakta, bu nedenle yüksek dozda bile gözenek artışı sınırlı kalmaktadır. Yeşil aksam uygulamaları, özellikle sıkışmamış topraklarda etkili olmuş, gözenekli yapının artmasını desteklemiştir. Bu bulgular, organik materyal uygulamalarının toprak havalanması, su infiltrasyonu ve kök gelişimi açısından doğrudan fayda sağladığını göstermektedir.

Çizelge 4.10: Kullanılan organik materyallerin mısır üretiminde sıkışmış ve sıkışmamış alanda P değerine etkileri

Mısır Uygulamalar	Sıkışmış P (%)			Sıkışmamış P (%)		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	53.32 ^b	0.33483	±0.82016	56.22 ^c	0.46531	±1.13977
Kompost 1 t da ⁻¹	55.33 ^{ab}	0.48114	±1.17855	58.19 ^{bc}	0.49594	±1.21480
Kompost 2 t da ⁻¹	53.72 ^b	0.95231	±2.33267	59.28 ^{ab}	0.60593	±1.48423
Kompost 4 t da ⁻¹	55.90 ^{ab}	0.44427	±1.08823	61.19 ^a	0.53760	±1.31685
Anız 1 t da ⁻¹	55.48 ^{ab}	0.78701	±1.92776	58.23 ^{bc}	0.40494	±0.99189
Anız 2 t da ⁻¹	54.81 ^{ab}	0.38715	±0.94831	58.41 ^{bc}	0.41103	±1.00682
Anız 4 t da ⁻¹	55.53 ^{ab}	0.98835	±2.42095	59.10 ^{ab}	0.22704	±0.55612
Yeşil Aksam 1 t da ⁻¹	54.32 ^{ab}	0.45238	±1.10811	56.61 ^c	0.55406	±1.35717
Yeşil Aksam 2 t da ⁻¹	54.51 ^{ab}	0.44980	±1.10178	59.07 ^{ab}	0.22867	±0.56012
Yeşil Aksam 4 t da ⁻¹	56.94 ^a	0.61863	±1.51532	60.53 ^{ab}	0.74617	±1.82773
p	**			***		
Skewness	0.290			0.055		
Kurtosis	0.168			0.165		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *:P<0.05, **:P<0.01, NS: Önemsiz, ***:P<0.001
 ***: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.



Şekil 4.10 Uygulama yapılan mısır ekili alanlarda sıkışmış ve sıkışmamış örnekler için P değerleri

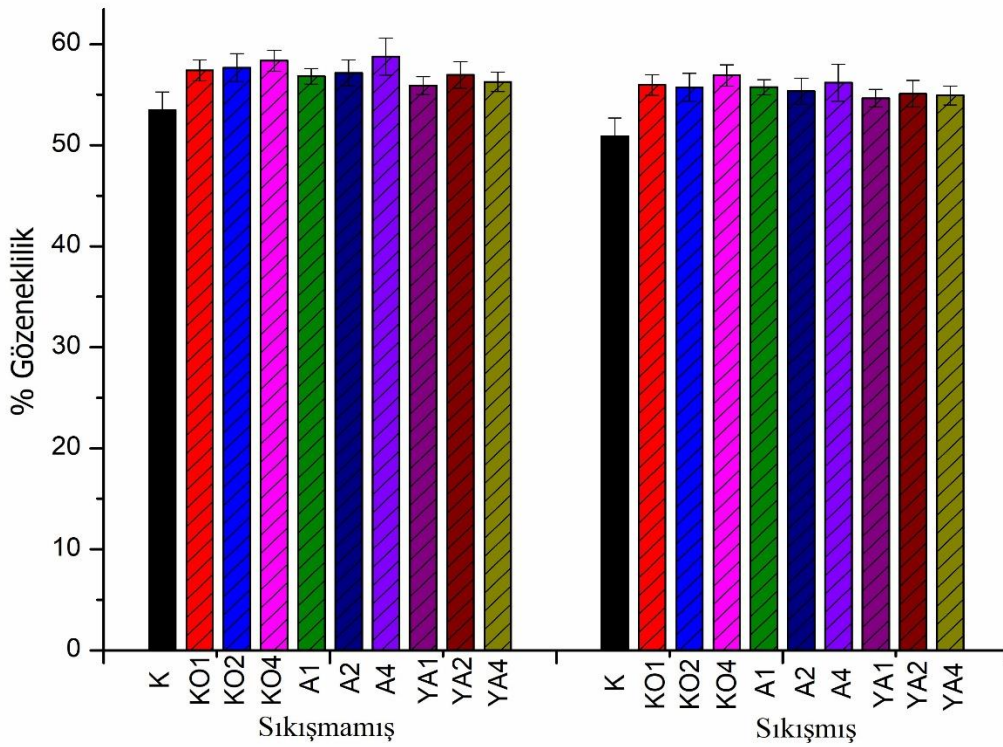
4.6.2. Arpa yetiştiriciliği döneminde sıkışmış ve sıkışmamış alanlarda P etkisi

Parsellerin ikinci yılda arpa üretiminin yapıldığı dönemde sıkışmış ve sıkışmamış alanlardan alınan toprak örneklerinin ölçümleri yapılarak P değeri incelenmiştir. Kompost, anız ve yeşil aksam uygulamalarının dozlarındaki artış P değerinin kontrol grubuna göre arttığı görülmektedir (Şekil 4.11). Kontrol grubunda sıkışmamış alanda elde edilen P değeri, sıkışmış alanda elde edilen P değeri incelendiğinde %4.84 oranında azalma görülmüştür.

Sıkışmamış alanda; kompost, anız ve yeşil aksam uygulamalarının P değeri incelendiğinde kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmuştur ($p < 0.001$). Fakat kompost, anız ve yeşil aksam uygulamalarının dozları arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır (Çizelge 4.11).

Sıkışmış alanda; uygulamaların P değerleri incelendiğinde kompost, anız ve yeşil aksam değerleri kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmuştur ($p < 0.001$). Fakat uygulamaların dozları arasında anlamlı farklılık görülmemiştir (Çizelge 4.11).

İlk yıl mısır üretiminin yapıldığı dönem ve ikinci yıl arpa üretiminin yapıldığı dönemde parsellerden alınan toprak örneklerinde P değerlerinde, kompostun fiziksel yapı iyileştirici etkisinin hem sıkışmış hem de sıkışmamış topraklarda etkili olduğu ortaya çıkmaktadır. Kompostun yüksek organik madde içeriği ve agregat stabilitesini artırıcı etkisi bu sonucu açıklamaktadır (Soinne ve ark., 2023). Anız uygulamaları, P'yi artırmakla birlikte kompost kadar güçlü bir etki göstermemiştir. Yavaş ayrışan yapısı nedeniyle anızın toprakta yapısal etki oluşturması zaman almakta, bu nedenle yüksek dozda bile gözenek artışı sınırlı kalmaktadır. Yeşil aksam uygulamaları, özellikle sıkışmamış topraklarda etkili olmuş, gözenekli yapının artmasını desteklemiştir. Bu bulgular, organik materyal uygulamalarının toprak havalanması, su infiltrasyonu ve kök gelişimi açısından doğrudan fayda sağladığını göstermektedir.



Şekil 4.11 Uygulama yapılan arpa ekili alanlarda sıkışmış ve sıkışmamış örnekler için P değerleri

Çizelge 4.11: Kullanılan organik materyallerin arpa üretiminde sıkışmış ve sıkışmamış alanda P değerine etkileri

Arpa Uygulamalar	Sıkışmış P (%)			Sıkışmamış P (%)		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	50.87 ^b	0.06501	±0.15925	53.46 ^d	0.05696	±0.13951
Kompost 1 t da ⁻¹	55.96 ^a	0.23677	±0.57997	57.40 ^{abc}	0.15302	±0.37482
Kompost 2 t da ⁻¹	55.72 ^a	0.24131	±0.59110	57.68 ^{abc}	0.00346	±0.00849
Kompost 4 t da ⁻¹	56.92 ^a	0.30162	±0.73881	58.38 ^{ab}	0.48767	±1.19455
Anız 1 t da ⁻¹	55.74 ^a	0.10885	±0.26662	56.82 ^{abc}	0.04696	±0.11502
Anız 2 t da ⁻¹	55.35 ^a	0.16003	±0.39199	57.16 ^{abc}	0.10488	±0.25690
Anız 4 t da ⁻¹	56.18 ^a	0.00591	±0.01447	58.77 ^a	0.30811	±0.75471
Yeşil Aksam 1 t da ⁻¹	54.66 ^a	0.15108	±0.37007	55.90 ^c	0.04780	±0.11708
Yeşil Aksam 2 t da ⁻¹	55.10 ^a	0.05767	±0.14127	56.96 ^{abc}	0.02455	±0.06015
Yeşil Aksam 4 t da ⁻¹	54.92 ^a	0.24133	±0.59113	56.27 ^{bc}	0.03498	±0.08568
p	***			***		
Skewness	-1.752			-0.750		
Kurtosis	3.460			1.581		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *:P<0.05, **:P<0.01, NS: Önemsiz, ***:P<0.001
****: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.

4.7. Uygulamaların Hava Dolu Gözenekliliğe (HDG) Etkisi

Hava dolu gözeneklilik, toprağın oksijen geçirgenliğini belirleyen bir fiziksel özelliktir ve kök solunumu, mikrobiyal aktivite ve genel toprak sağlığı açısından kritik öneme sahiptir. Hava gözenekliliği, genellikle toplam gözenekliliğin %10 altındaki kısmı ifade eder ve özellikle makro gözeneklerin varlığına bağlıdır. Organik materyal uygulamaları, toprak yapısını iyileştirerek bu parametreyi doğrudan etkilemektedir.

Çalışmada parsellere 1, 2 ve 4 ton da⁻¹ dozlarda kompost, anız ve yeşil aksam uygulaması yapılarak ilk yıl mısır ve ikinci yıl arpa ekilen parsellerden traktör trafiğine maruz kalmış (sıkışmış) ve traktörün geçmediği (sıkışmamış) alanlardan alınan toprak numunelerinde HDG değerleri karşılaştırılmıştır. Parsellerde sıkışmış ve sıkışmamış alanlardan hem mısır hem de arpa yetiştirilen dönemlerde topraklarında HDG değerinde kompost, anız ve yeşil aksam uygulamalarının sonucunda anlamlı farklılık bulunmuştur.

4.7.1. Mısır yetiştiriciliği döneminde sıkışmış ve sıkışmamış alanlarda HDG etkisi

Sıkışmamış alanda; yapılan değerlendirmede toprak örneklerinde öncelikle kompost uygulamasına göre yapılan ölçümlerde 2 ve 4 ton da⁻¹ doz uygulamaları kontrol grubuna göre anlamlı farklılık oluşturmuştur (p<0.001). Kompostun dozları arasında 4 ton da⁻¹ doz uygulaması 1 ton da⁻¹ doz uygulamasına göre anlamlı farklılık oluşturmuştur. Anız uygulamasında 4 ton da⁻¹ doz kontrole göre anlamlı farklılık oluşturmuş ve anız

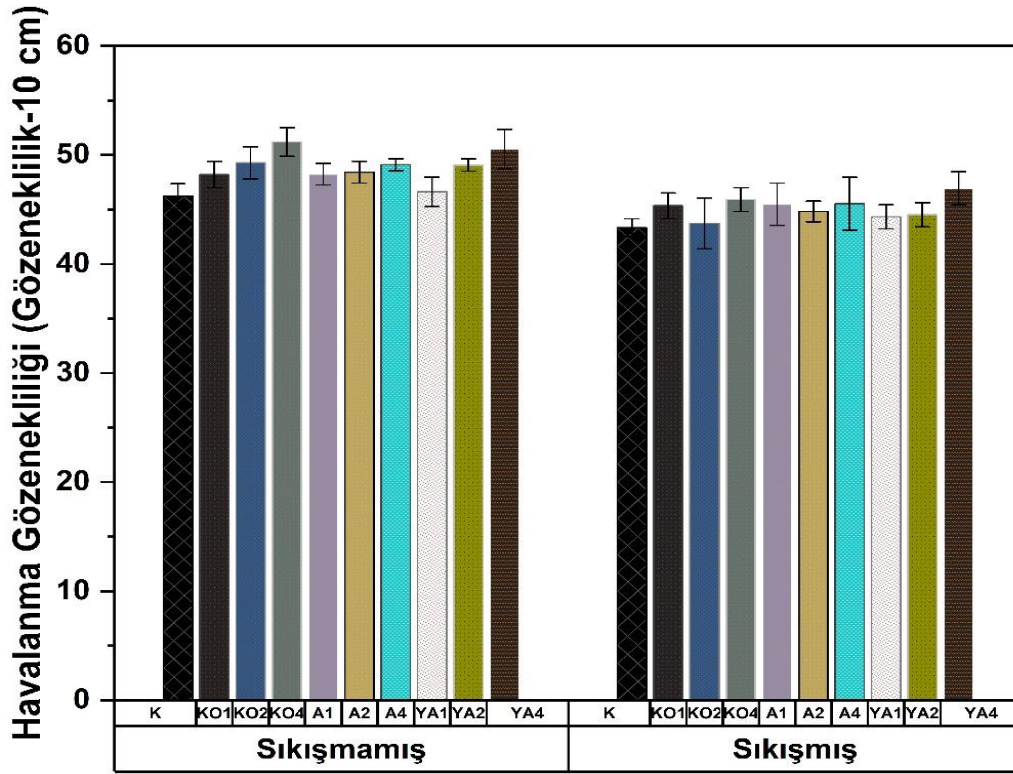
uygulamalarının dozları arasında farklılık istatistiki olarak önemsizdir. Yeşil akşam uygulaması incelendiğinde kontrol grubuna göre 2 ve 4 ton da⁻¹ doz uygulamaları istatistiki olarak anlamlı farklılık oluşturmuştur (Şekil 4.12). Yeşil aksam uygulama dozları arasında 2 ve 4 ton da⁻¹ doz uygulamaları 1 ton da⁻¹ doz uygulamasına göre anlamlı farklılık oluşturmuştur.

Sıkışmış alanda; yapılan HDG değerlendirmesinde, kompost ve anız uygulamalarının 1, 2 ve 4 ton da⁻¹ doz uygulamalarında kontrol grubuna göre istatistiki olarak anlamlı farklılık bulunmamıştır (p<0.01). Yeşil aksam 4 ton da⁻¹ doz uygulaması kontrole göre istatistiki olarak anlamlı farklılık oluşturmuştur. Fakat yeşil aksam uygulamasının dozları arasında anlamlı farklılık olmamıştır (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12: Kullanılan organik materyallerin mısır üretiminde sıkışmış ve sıkışmamış alanda HDG değerine etkileri

Mısır Uygulamalar	Sıkışmış HDG (%)			Sıkışmamış HDG (%)		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	43.32 ^b	0.33483	±0.82016	46.22 ^c	0.46531	±1.13977
Kompost 1 t da ⁻¹	45.33 ^{ab}	0.48114	±1.17855	48.19 ^{bc}	0.49594	±1.21480
Kompost 2 t da ⁻¹	43.72 ^b	0.95231	±2.33267	49.28 ^{ab}	0.60593	±1.48423
Kompost 4 t da ⁻¹	45.90 ^{ab}	0.44427	±1.08823	51.19 ^a	0.53760	±1.31685
Anız 1 t da ⁻¹	45.48 ^{ab}	0.78701	±1.92776	48.23 ^{bc}	0.40494	±0.99189
Anız 2 t da ⁻¹	44.81 ^{ab}	0.38715	±0.94831	48.41 ^{bc}	0.41103	±1.00682
Anız 4 t da ⁻¹	45.53 ^{ab}	0.98835	±2.42095	49.10 ^{ab}	0.22704	±0.55612
Yeşil Aksam 1 t da ⁻¹	44.32 ^{ab}	0.45238	±1.10811	46.61 ^c	0.55406	±1.35717
Yeşil Aksam 2 t da ⁻¹	44.51 ^{ab}	0.44980	±1.10178	49.07 ^{ab}	0.22867	±0.56012
Yeşil Aksam 4 t da ⁻¹	46.94 ^a	0.61863	±1.51532	50.53 ^{ab}	0.74617	±1.82773
p	**			***		
Skewness	0.290			0.055		
Kurtosis	0.168			0.165		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *:P<0.05, **:P<0.01, NS: Önemsiz, ***:P<0.001
****: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.



Şekil 4.12 Uygulama yapılan parsellerde mısır ekili alanlarda sıkışmış ve sıkışmamış örneklerin hava dolu gözenek değerleri

4.7.2. Arpa yetiştiriciliği döneminde sıkışmış ve sıkışmamış alanlarda HDG etkisi

Sıkışmış alanda; arpa üretimi yapılan parsellerde topraklara bakıldığında belirlenen HDG değeri kompost uygulamasının 1, 2 ve 4 ton da^{-1} doz uygulamalarında kontrol grubuna göre istatistiki olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p < 0.001$). Anız ve yeşil aksam uygulamalarının 1, 2 ve 4 ton da^{-1} dozlarında HDG değerleri kontrole göre istatistiki olarak anlamlı farklılık bulunmuştur (Şekil 4.13).

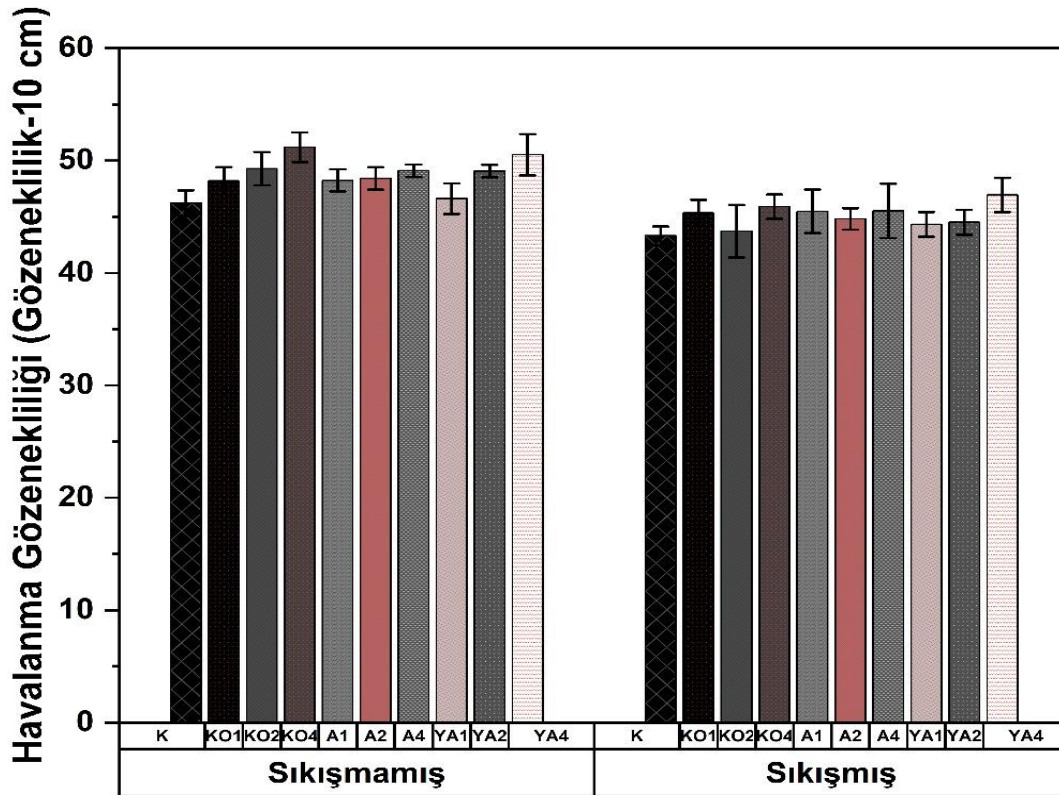
Sıkışmamış alanda; arpa üretim döneminde yapılan HDG değerlendirmesi kompost uygulanan parsellerde 1, 2 ve 4 ton da^{-1} dozları kontrol grubuna göre istatistiki olarak anlamlı farklılık oluşturmuştur ($p < 0.001$). Fakat kompost uygulama dozları arasındaki fark istatistiki olarak anlamlı değildir. Anız uygulaması yapılan 1, 2 ve 4 ton da^{-1} doz uygulamalarında parsellerde elde edilen HDG değeri istatistiki olarak anlamlı farklılık oluşturmuştur. Anız uygulama dozlarındaki artış HDG değişimi istatistiki olarak anlamlı değildir. Yeşil aksam uygulaması 1, 2 ve 4 ton da^{-1} dozlarında kontrol grubuna

göre istatistiki olarak anlamlı farklılıklar bulunmuş fakat dozlar arasındaki fark anlamlı değildir (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13: Kullanılan organik materyallerin arpa üretiminde sıkışmış ve sıkışmamış alanda HDG değerine etkileri

Arpa Uygulamalar	Sıkışmış HDG (%)			Sıkışmamış HDG (%)		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	40.87 ^b	0.06501	±0.15925	43.46 ^d	0.05696	±0.13951
Kompost 1 t da ⁻¹	45.96 ^a	0.23677	±0.57997	47.40 ^{abc}	0.15302	±0.37482
Kompost 2 t da ⁻¹	45.72 ^a	0.24131	±0.59110	47.68 ^{abc}	0.00346	±0.00849
Kompost 4 t da ⁻¹	46.92 ^a	0.30162	±0.73881	48.37 ^{abc}	0.48767	±1.19455
Anız 1 t da ⁻¹	45.74 ^a	0.10885	±0.26662	46.82 ^{abc}	0.04692	±0.11492
Anız 2 t da ⁻¹	45.35 ^a	0.16003	±0.39199	47.16 ^{abc}	0.10488	±0.25690
Anız 4 t da ⁻¹	46.18 ^a	0.00591	±0.01447	48.77 ^a	0.30811	±0.75471
Yeşil Aksam 1 t da ⁻¹	44.66 ^a	0.15108	±0.37007	45.90 ^c	0.04780	±0.11708
Yeşil Aksam 2 t da ⁻¹	45.10 ^a	0.05767	±0.14127	46.96 ^{abc}	0.02455	±0.06015
Yeşil Aksam 4 t da ⁻¹	44.92 ^a	0.24133	±0.59113	46.27 ^{bc}	0.03498	±0.08568
P	***			***		
Skewness	-1.752			-0.750		
Kurtosis	3.460			1.581		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *:P<0.05, **:P<0.01, NS: Önemsiz, ***:P<0.001
***: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.



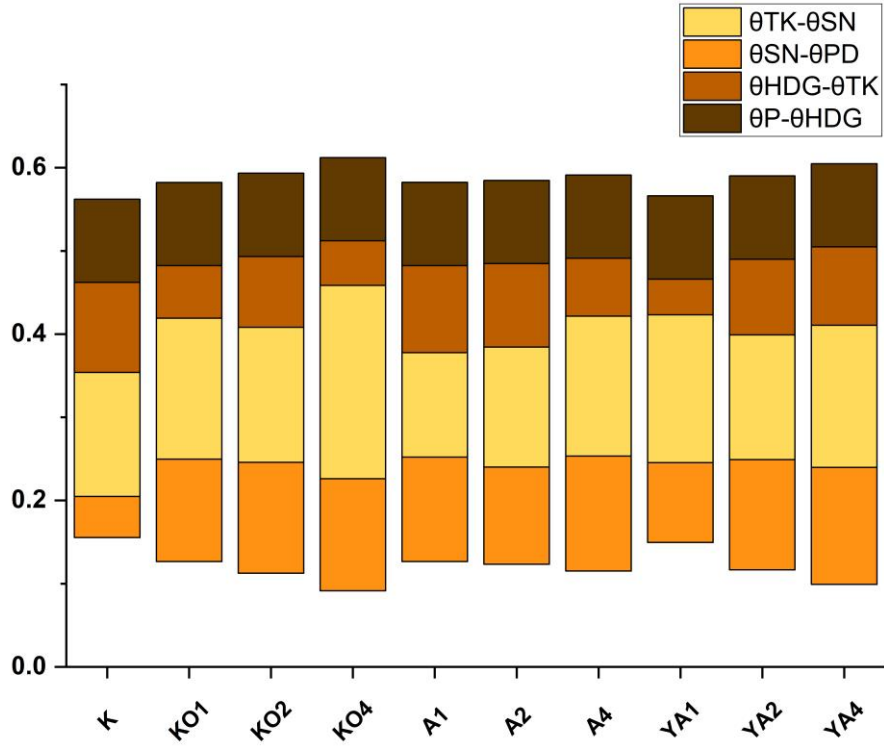
Şekil 4.13 Uygulama yapılan parsellerde arpa ekili alanlarda sıkışmış ve sıkışmamış örneklerin hava dolu gözenek değerleri

4.8. Uygulamaların Sınırlandırılmış Su Aralığına (SSA) Etkisi

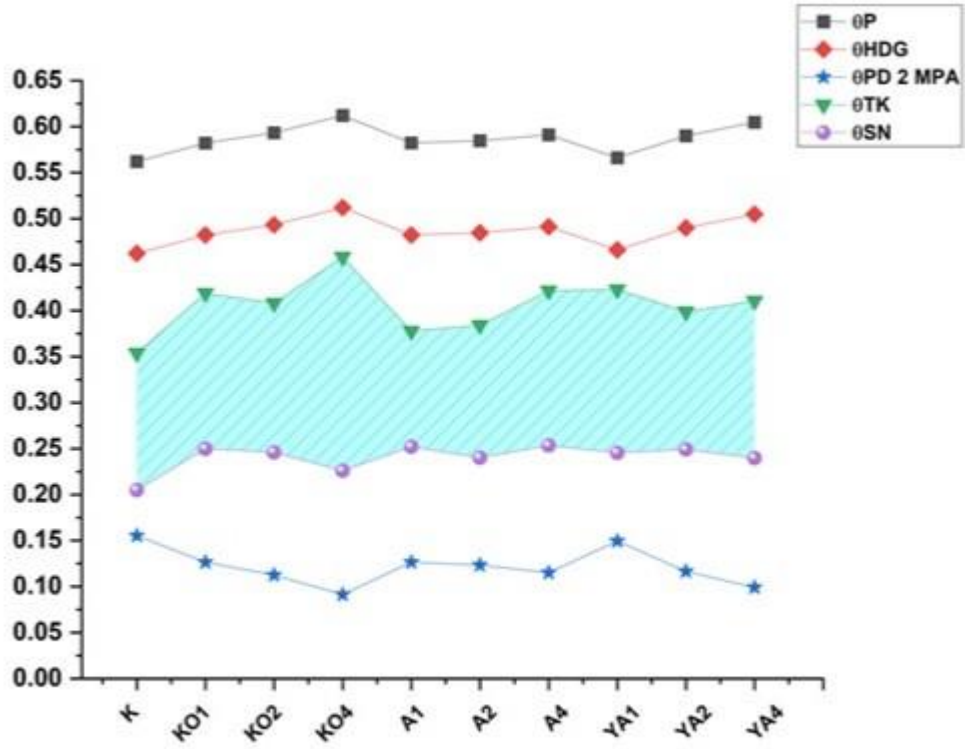
Uygulama yapılan parsellerde mısır hasadı sonrası traktör trafiği oluşturularak sıkışan alanlardan ve traktörün geçmediği sıkışmamış alanlardan farklı farklı alınan örneklerin analiz edilmesi sonucu her uygulama için SSA limitleri belirlenmiştir.

4.8.1. Mısır yetiştiriciliği döneminde sıkışmış ve sıkışmamış alanlarda SSA değerlendirilmesi

Sıkışmamış alanda yapılan değerlendirme sonucunda kontrol uygulamasına kıyasla, tüm organik materyal uygulamaları genel olarak TK değerlerinde artış sağlarken, SN'deki farklılıklar daha sınırlı kalmıştır. Bu durum, organik materyal uygulamalarının toprak su tutma kapasitesini artırırken, SN etkisinde daha sınırlı olduğunu göstermektedir. Özellikle 4 ton da⁻¹ doz kompost uygulamasıyla en yüksek TK değeri elde edilmiş ve buna bağlı olarak sınırlandırılmış su içeriği maksimum düzeye ulaşmıştır. Bu durum, organik maddenin toprağın su tutma kapasitesini artırma potansiyelini açıkça ortaya koymaktadır. Anız ve yeşil aksam uygulamaları da TK değerlerini artırmış, ancak bu artış kompost uygulamaları kadar belirgin olmamıştır. Bununla birlikte, anız ve yeşil aksam uygulamalarıyla elde edilen TK değerlerinin kontrol değerlerine kıyasla yüksekliği, bu materyallerin de toprak yapısını iyileştirdiğini ve suyun toprak tarafından daha uzun süre tutulmasını sağladığını göstermektedir. P ve HDG değerlerinde ise uygulamalara bağlı hafif artışlar gözlenmiş, bu da organik materyallerin toprağın porozitesini artırarak su ve hava dengesini iyileştirdiğini göstermektedir. 2 MPa'daki su içeriği değerlerinde (θ_{PD} 2MPa) kontrol uygulamasına göre düşüşler gözlemlenmiştir. Bu da organik madde uygulamalarının suyun toprakta çok sıkı tutulmasını önleyerek bitki tarafından daha kolay alınabilir hale getirdiğini göstermektedir. 2 MPa sınır değerindeki su içeriğinin solma noktasına en yakın olduğu kontrol grubu parselleri iken en uzak olan uygulama kompost 4 ton da⁻¹ doz uygulamasıdır. Toprağa kompost, anız ve yeşil aksam uygulamalarının farklı dozlarda uygulanması sonucu mısır yetiştirilen parselde SSA değeri için herhangi bir kısıtlayıcı faktör bulunmadığı görülmektedir. Uygulama sonucu parsellerde havalanma problemi yaşanmadığı ve 2MPa kök gelişiminin sınırlandırıldığı nem değeri SN altında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.14-15).



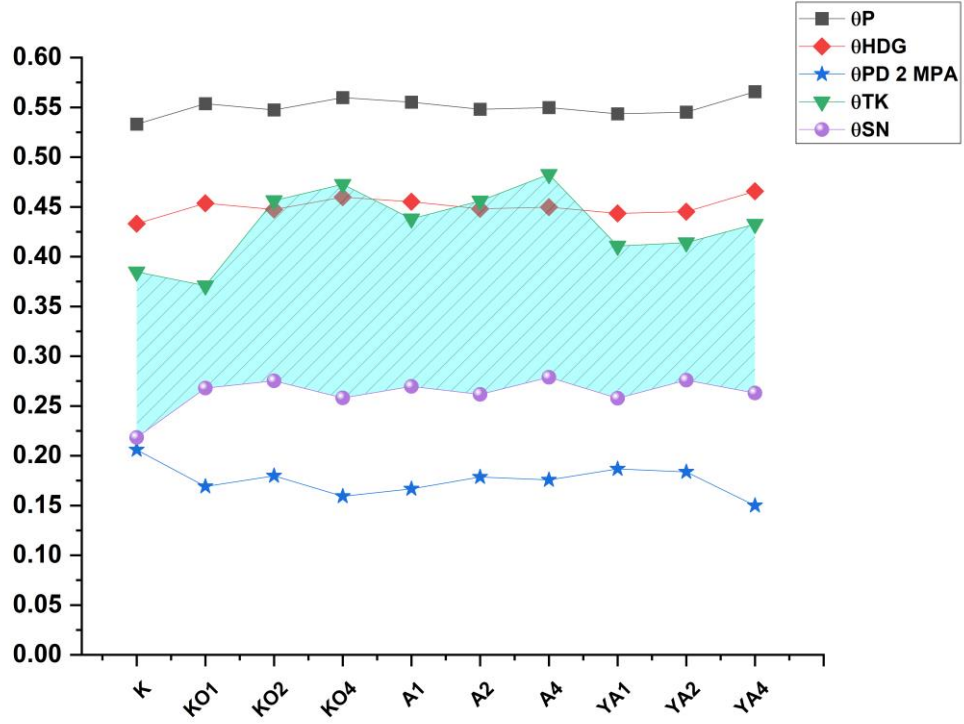
Şekil 4.14 Mısır hasadı sonrası sıkışmamış alanda SSA Değeri sütun gösterimi



Şekil 4.15 Mısır hasadı sonrası sıkışmamış alanda SSA Değeri

Sıkışmış alanda yapılan SSA değerlendirmesinde kontrol grubuna kıyasla, organik materyal uygulamaları, TK değerlerinde artış sağlamıştır. En yüksek TK değerinin 4 ton da⁻¹ doz anız uygulamasında ölçülmüştür. Toprak sıkışması sonucu 4 ton da⁻¹ doz anız uygulaması HDG değerinin üstünde kalmış, kompost 2 ve 4 ton da⁻¹ uygulamaları HDG değerinin sınırında bir değer elde edilmiştir. Sıkışma ile toprakta mikro gözeneklerin artması ile suyun tutumasıda artmıştır. Bu durum uygulamalarda sıkışma ile toprak gözeneklerinde hava miktarının azalması sonucu bitki köklerinin havalanma problemi yaşaması olasıdır. SN değerlerinde ise organik madde uygulamalarına bağlı olarak hafif artışlar gözlenmiş, ancak bu artışlar TK'deki artışa kıyasla daha sınırlı kalmıştır. Bu da SSA değerinin arttığını göstermektedir. Özellikle kompost ve anız uygulamalarıyla elde edilen SSA değerleri, kontrol grubuna göre anlamlı artışlar sunmuştur. P değerleri genel olarak yüksek seviyelerde seyretmekte olup, uygulamalar arası büyük farklar göstermemiştir. 2 MPa'da PD'ye karşılık gelen nem içeriği (θPD 2 MPa) değerleri, toprak sıkışmasının etkisini yansıtmaktadır. Bu değerlerin kontrol grubuna kıyasla daha düşük seyretmesi, kompost, anız ve yeşil aksam uygulamalarının toprak direncini azaltarak kök gelişimine daha elverişli ortam sağladığını göstermektedir. Kontrol parselinde ölçülen 2 MPa değerindeki θPD değeri SN değeri ile sıkışma sonrası yakınlaşmıştır.

Mısır hasatı sonrası traktörün sıkıştırdığı alandan yapılan ölçümler sonucu SSA değerlendirilmesi ile sıkışmamış alanda olduğu gibi sıkışmış alanda da aynı durum geçerlidir. Sıkışmış alanda yapılan ölçümlerde havalanma problemi yaşanması olasıdır ve 2 MPa kök gelişiminin sınırlandırıldığı nem değeri SN altındadır. Fakat her iki parametrede sıkışmamış alana nazaran TK ve SN değerlerine yaklaşmıştır (Şekil 4.16).

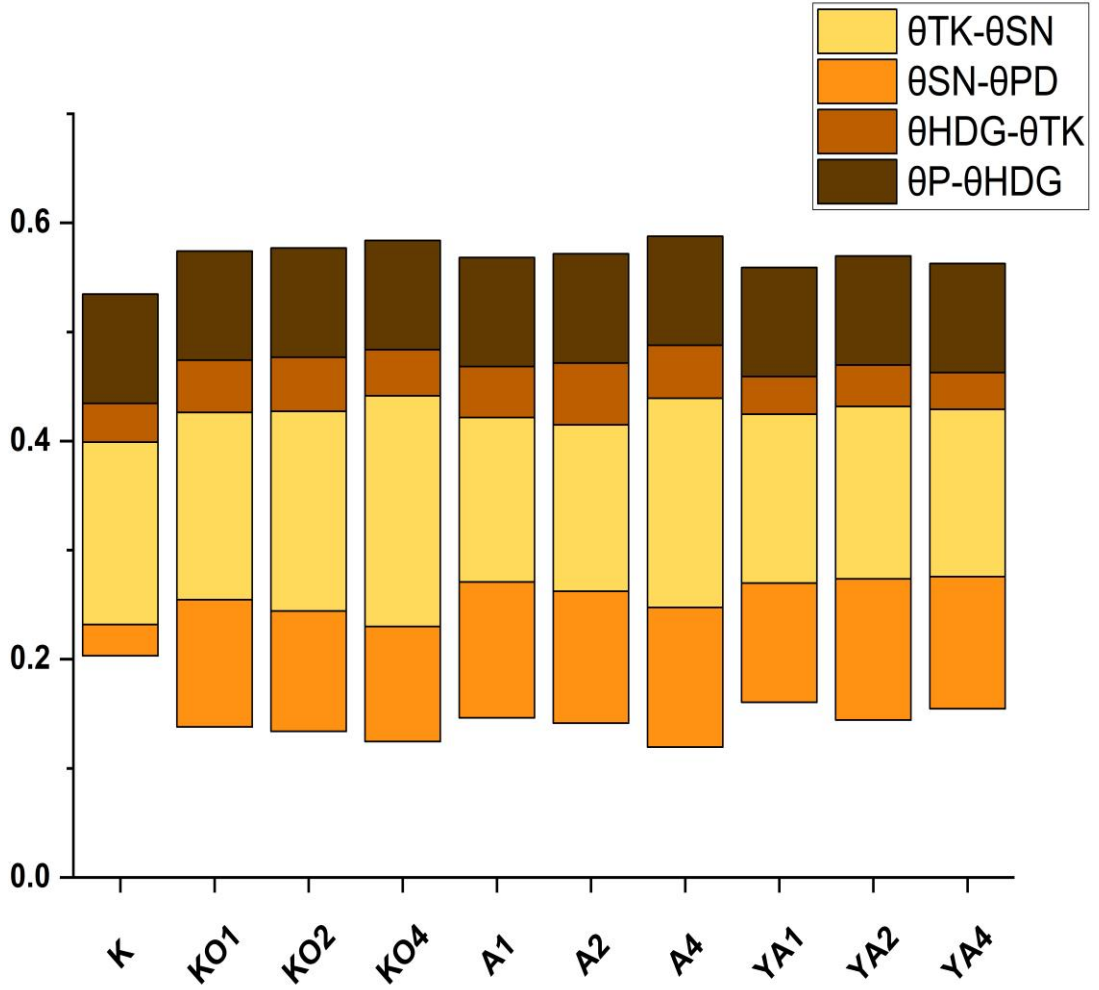


Şekil 4.16 Mısır hasadı sonrası sıkışmış alanda SSA Değeri

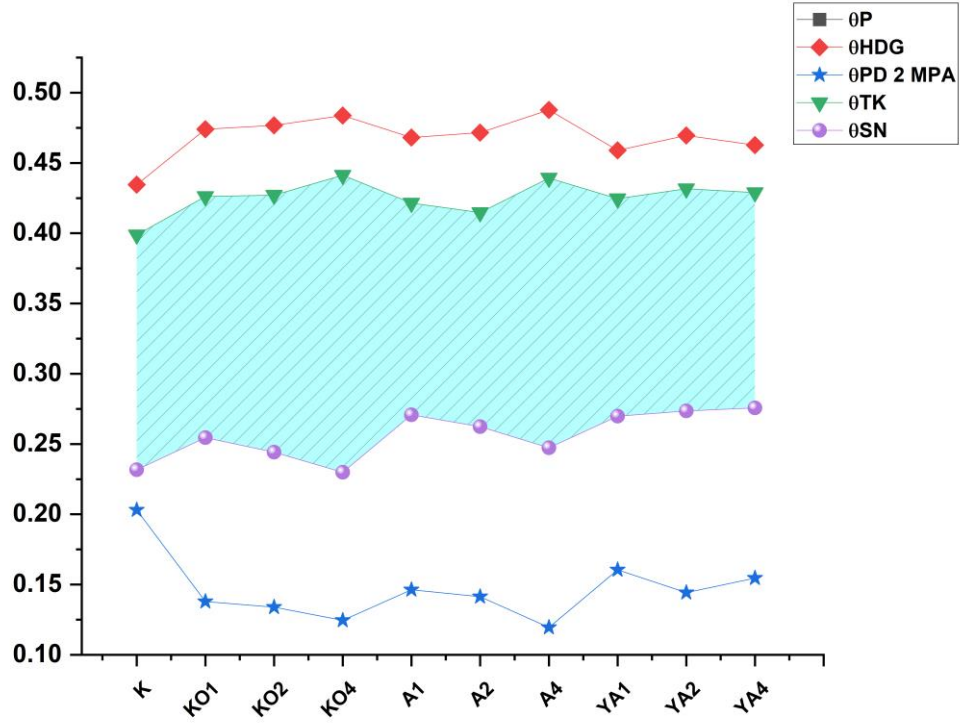
4.8.2. Arpa yetiştiriciliği döneminde sıkışmış ve sıkışmamış alanlarda SSA değerlendirilmesi

Parsellerde mısır hasat edildikten sonra arpa ekimi yapılarak ikinci dönem yetiştiriciliğinde tarla trafiği olmadan (sıkışmamış alan) alınan toprak örneklerinde SSA değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda, tüm organik materyal uygulamalarının, kontrol grubuna kıyasla toprak su tutma kapasitesi üzerinde olumlu etkiler yarattığı görülmektedir. Özellikle kompost uygulamaları, P değerlerinde belirgin bir artış sağlamış, bu da gözenekli yapının geliştiğini göstermektedir. Kompost 4 ton da⁻¹ uygulaması, TK açısından en yüksek değeri göstermiş olup, toprakta suyun tutulabilirliğini artırarak bitki suyu temini açısından olumlu bir yetiştirme ortamı oluşturmuştur. Anız ve yeşil aksam uygulamaları da benzer şekilde TK ve SN değerlerini iyileştirmiştir. Özellikle anız 4 ton da⁻¹ ve yeşil aksam 2 ton da⁻¹ uygulamaları, SSA açısından dikkat çekici artışlar sağlamış; bu durum, bitkinin kullanabileceği su miktarının arttığını ve bu uygulamaların toprak su rejimini olumlu yönde etkilediğini ortaya koymuştur. 2 MPa PD'ye karşılık gelen nem içeriği (θPD) değerlerinin tüm

uygulamalarda kontrol grubuna göre daha düşük seviyede seyretmesi, organik madde ilavesinin toprağın sıkışabilirliğini azalttığını ve bu sayede kök gelişimi için daha uygun fiziksel ortam sağlandığını göstermektedir (Şekil 4.17-18).



Şekil 4.17 Arpa üretim sezonu sıkışmamış alanda SSA Değeri

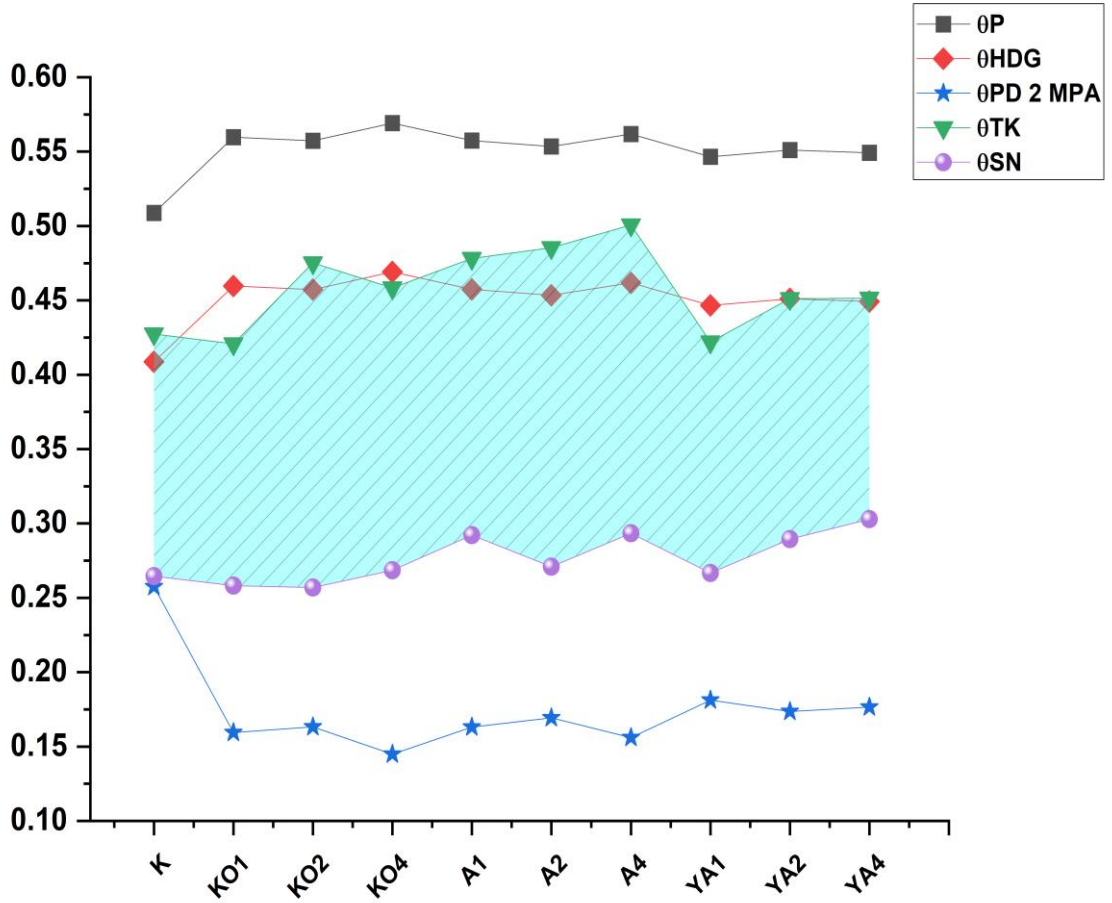


Şekil 4.18 Arpa üretim sezonu sıkışmamış alanda SSA Değeri

Arpa ekili parsellerde traktör geçmesi sonucu (sıkışmış alan) alınan örneklerde SSA değerlendirilmesi yapılmıştır. Anız uygulamalarında özellikle 4 ton da^{-1} dozda TK'nin diğer parsellere göre en yüksek seviyeye ulaştığı gözlenmiştir. Bu durum, organik maddenin toprağın su tutma kapasitesini artırıcı etkisini doğrulamaktadır. Kompost ve yeşil aksam uygulamaları da kontrole göre TK değeri artırmıştır. Tüm organik madde uygulamaları SN değerlerini kontrol uygulamasına göre artırmıştır. 2 Mpa nem içeriği, kompost uygulamalarında 2 Mpa'da su içeriği belirgin şekilde düşmüştür. P ve HDG kompost ve anız uygulamaları toprağın toplam P ve HDG değerini artırdığı gözlenmiştir. Bu durum, kompost ve anızın daha fazla mikro gözenek oluşturarak su tutma kapasitesini artırdığı, ancak hava dolaşımını hafifçe sınırladığına işaret etmektedir (Şekil 4.19).

SSA değeri, kompost 2 ton da^{-1} ve yeşil aksam 4 ton da^{-1} doz uygulamalarında en yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu durum, bu uygulamaların suya erişimi artırarak bitki gelişimini olumlu yönde etkileyebileceğini göstermektedir. Parsellerde HDG ile TK değerleri birbirine yakın değerlerde bulunmuştur. Anız uygulamasının 1, 2 ve 4 ton da^{-1} dozlarında ve kompost uygulamasının 2 ton da^{-1} doz uygulamasında havalanma problemi olabileceği görülmektedir. Diğer uygulamalarda ise bu değerler arası sınır oldukça azdır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, tarla trafiği nedeniyle sıkışmış toprak koşullarında yapılan organik madde uygulamaları, toprak su tutma özelliklerini olumlu yönde etkilemiş, özellikle kompost ve anız uygulamaları bitki açısından faydalı suyun artırılmasına katkı sağlamıştır. Bu bulgular, organik madde uygulamalarının toprağın fiziksel kalitesini iyileştirici potansiyelini desteklemektedir.



Şekil 4.19 Arpa üretim sezonu sıkışmış alanda SSA Değeri

4.9. Uygulamaların Rutubet Karakteristik Eğrisine (RKE) Etkisi

Parsellere uygulanan 1, 2 ve 4 ton da⁻¹ dozlarında kompost, anız ve yeşil aksam organik materyallerinin farklı tansiyonlarındaki su içeriklerinin belirlenmesiyle elde edilen rutubet karakteristik eğrisi (RKE) her iki üretim dönemi için de oluşturulmuştur. Tarla Kapasitesi (TK) değeri (2.52 pF) ve Solma Noktası (SN) değeri (4.18 pF) incelenerek değerlendirilmiştir.

Uygulama yapılan parsellerden ilk yıl mısır üretimi yapıldığı dönem sıkışmış ve sıkışmamış alandan bozulmuş ve bozulmamış örnekler alınarak pF değerleri belirlenmiştir (Şekil 4.20).

TK değeri ilk yıl mısır üretimi döneminde uygulamalar arasında doz artışı ile çoğunlukla artış görülmektedir. Yapılan kompost, anız ve yeşil aksam uygulamaları sonucunda sıkışmamış alanda ölçülen TK değerinde kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı farklılık oluşturmamaktadır (p: NS)

Mısır üretim döneminde sıkışmış alanda kompost, anız ve yeşil aksam uygulamalarının TK değerleri kontrol grubuna göre istatistiksel olarak fark önemli değildir (p: NS) (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14: Kullanılan organik materyallerin mısır üretiminde sıkışmış ve sıkışmamış alanda TK değerine etkileri

Mısır Uygulamalar	Sıkışmış TK (%)			Sıkışmamış TK (%)		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	38.47 ^{NS}	1.69595	±4.15421	35.39 ^{NS}	1.21094	±2.96617
Kompost 1 t da ⁻¹	37.08 ^{NS}	1.31464	±3.22021	41.90 ^{NS}	1.32850	±3.25415
Kompost 2 t da ⁻¹	45.64 ^{NS}	3.63653	±8.90765	40.81 ^{NS}	1.88669	±4.62144
Kompost 4 t da ⁻¹	47.27 ^{NS}	3.92522	±9.61479	45.84 ^{NS}	3.58468	±8.78063
Anız 1 t da ⁻¹	43.81 ^{NS}	2.81997	±6.90748	37.77 ^{NS}	1.44613	±3.54228
Anız 2 t da ⁻¹	45.60 ^{NS}	2.22938	±5.46084	38.42 ^{NS}	2.38587	±5.84417
Anız 4 t da ⁻¹	48.27 ^{NS}	2.88801	±7.07414	42.16 ^{NS}	2.18443	±5.35073
Yeşil Aksam 1 t da ⁻¹	41.08 ^{NS}	0.95646	±2.34283	42.31 ^{NS}	1.46191	±3.58094
Yeşil Aksam 2 t da ⁻¹	41.41 ^{NS}	2.80543	±6.87186	39.89 ^{NS}	1.97810	±4.84533
Yeşil Aksam 4 t da ⁻¹	43.26 ^{NS}	2.80516	±6.87122	41.06 ^{NS}	2.41323	±5.91119
p	NS			NS		
Skewness	0.656			0.196		
Kurtosis	-0.02			-0.365		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *:P<0.05, **:P<0.01, NS: Önemsiz, ***:P<0.001

****: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.

SN değeri mısır üretimi döneminde sıkışmış ve sıkışmamış alanlarda yapılan ölçümlerde uygulamalar arasında doz artışına karşın SN değerinde artış görülmektedir (Çizelge 4.15). Kontrol parseline göre sıkışmamış alanda kompost, anız ve yeşil aksam

uygulamalarının sonucunda SN değeri istatistiksel olarak anlamlı farklılık oluşturmamıştır (p: NS). Sıkışmış alan SN ölçümlerinde kompost, anız ve yeşil aksam uygulamalarının sonucunda SN değeri istatistiksel olarak anlamlı farklılık oluşturmamıştır (p: NS).

Çizelge 4.15: Kullanılan organik materyallerin mısır üretiminde sıkışmış ve sıkışmamış alanda SN değerine etkileri

Mısır Uygulamalar	Sıkışmış SN (%)			Sıkışmamış SN (%)		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	21.83 ^{NS}	0.82577	±2.02271	20.48 ^{NS}	0.65369	±1.60121
Kompost 1 t da ⁻¹	26.79 ^{NS}	1.04914	±2.56985	24.97 ^{NS}	1.07146	±2.62452
Kompost 2 t da ⁻¹	27.51 ^{NS}	0.91884	±2.25068	24.59 ^{NS}	1.19823	±2.93505
Kompost 4 t da ⁻¹	25.80 ^{NS}	1.08475	±2.65709	22.61 ^{NS}	0.91064	±2.23061
Anız 1 t da ⁻¹	26.96 ^{NS}	1.26850	±3.10719	25.21 ^{NS}	0.98868	±2.42176
Anız 2 t da ⁻¹	26.16 ^{NS}	1.30582	±3.19860	24.01 ^{NS}	1.21704	±2.98112
Anız 4 t da ⁻¹	27.88 ^{NS}	0.85742	±2.10024	25.33 ^{NS}	0.92309	±2.26111
Yeşil Aksam 1 t da ⁻¹	25.77 ^{NS}	0.83998	±2.05753	24.54 ^{NS}	0.99147	±2.42861
Yeşil Aksam 2 t da ⁻¹	27.60 ^{NS}	1.26619	±3.10152	24.91 ^{NS}	0.83674	±2.04960
Yeşil Aksam 4 t da ⁻¹	26.30 ^{NS}	0.97680	±2.39267	23.96 ^{NS}	0.50703	±1.24196
p	NS			NS		
Skewness	-0.275			-0.077		
Kurtosis	-0.813			-1.056		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *:P<0.05, **:P<0.01, NS: Önemsiz, ***:P<0.001
****: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.

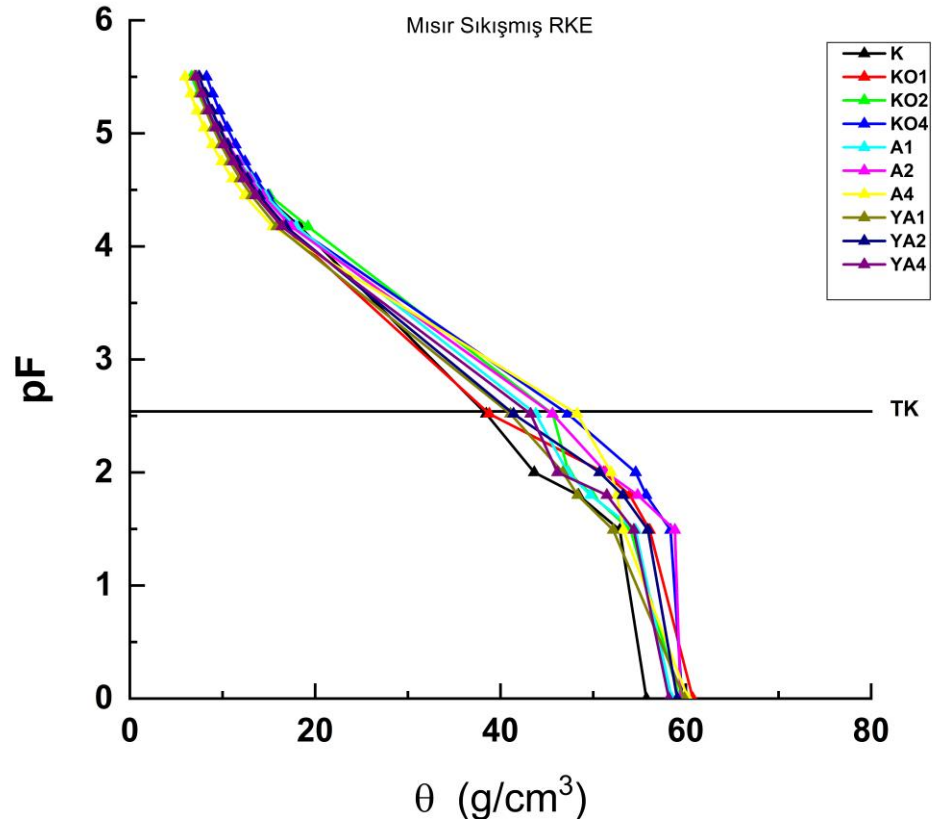
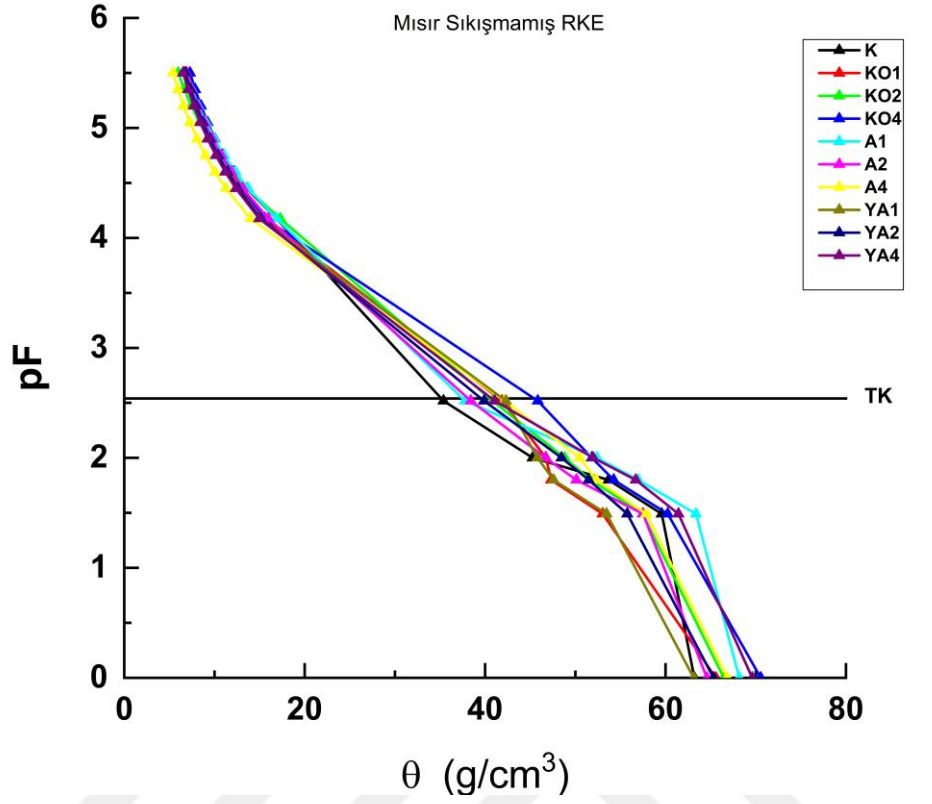
Faydalı su kapasitesi (FSK) TK ile SN arasındaki fark alınarak hesaplanmıştır. FSK bitkinin kullanabileceği su miktarını ifade etmektedir. Mısır üretim döneminde sıkışmış ve sıkışmamış alanlarda yapılan ölçümler sonucunda kompost, anız ve yeşil aksam uygulamalarının sonucunda FSK değeri istatistiksel olarak anlamlı farklılık oluşturmamıştır (p: NS) (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16: Kullanılan organik materyallerin mısır üretiminde sıkışmış ve sıkışmamış alanda FSK değerine etkileri

Mısır Uygulamalar	Sıkışmış FSK (%)			Sıkışmamış FSK (%)		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	16.63 ^{NS}	1.90270	±4.66065	14.90 ^{NS}	1.47066	±3.60237
Kompost 1 t da ⁻¹	10.30 ^{NS}	1.13644	±2.78371	16.93 ^{NS}	2.02384	±4.95739
Kompost 2 t da ⁻¹	18.12 ^{NS}	2.84127	±6.95966	16.22 ^{NS}	2.08083	±5.09696
Kompost 4 t da ⁻¹	21.47 ^{NS}	2.96152	±7.25420	23.23 ^{NS}	4.04068	±9.89759
Anız 1 t da ⁻¹	16.85 ^{NS}	2.10382	±5.15329	12.56 ^{NS}	1.73873	±4.25901
Anız 2 t da ⁻¹	15.43 ^{NS}	4.46317	±10.9324	14.41 ^{NS}	2.55572	±6.26021
Anız 4 t da ⁻¹	20.39 ^{NS}	2.63710	±6.45955	16.83 ^{NS}	2.95772	±7.24490
Yeşil Aksam 1 t da ⁻¹	15.31 ^{NS}	1.01689	±2.49086	17.77 ^{NS}	2.28851	±5.60569
Yeşil Aksam 2 t da ⁻¹	13.81 ^{NS}	2.87356	±7.03874	14.98 ^{NS}	2.39156	±5.85809
Yeşil Aksam 4 t da ⁻¹	16.96 ^{NS}	2.18723	±5.35761	17.10 ^{NS}	2.25409	±5.52136
p	NS			NS		
Skewness	0.173			0.162		
Kurtosis	0.042			-0.378		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *:P<0.05, **:P<0.01, NS: Önemsiz, ***:P<0.001

****: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.



Şekil 4.20 Mısır ekili alanda sıkışmamış ve sıkışmış örneklerin RKE

Uygulama yapılan parsellerden ikinci yıl arpa üretimi yapıldığı dönem sıkışmış ve sıkışmamış alandan bozulmuş ve bozulmamış örnekler alınarak TK, SN ve FSK değerleri belirlenmiştir (Şekil 4.21).

Sıkışmamış alanda yapılan ölçümlerde TK değeri kompost, anız ve yeşil aksam uygulamaları 1 2 ve 4 ton da⁻¹ doz uygulamaları kontrol grubuna göre istatistiki olarak anlamlı farklılıklar oluşturmuştur (p<0.001). Fakat kompost, anız ve yeşil aksam uygulama dozlarının arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır (Çizelge 4.17).

Sıkışmış alanda yapılan ölçümlerde kompost uygulamasının 2 ve 4 ton da⁻¹ doz uygulamaları, kontrole göre istatistiki olarak önemli farklılıklar oluşturmuştur (p<0.001). Anız uygulamasında 1, 2 ve 4 ton da⁻¹ doz uygulamaları kontrole göre anlamlı farklılık oluşturmuş fakat dozlar arasında anlamlı farklılık oluşturmamıştır. Yeşil aksam uygulamasında doz arttıkça TK değerleri artmış fakat bu artış kontrol grubuna göre istatistiki olarak anlamlı bulunmamıştır.

Çizelge 4.17: Kullanılan organik materyallerin arpa üretiminde sıkışmış ve sıkışmamış alanda TK değerine etkileri

Arpa Uygulamalar	Sıkışmış TK (%)			Sıkışmamış TK (%)		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	42.74 ^{ef}	0.27079	±0.66329	39.89 ^c	0.11203	±0.27441
Kompost 1 t da ⁻¹	42.08 ^f	0.80198	±1.96443	42.61 ^{ab}	0.20495	±0.50202
Kompost 2 t da ⁻¹	47.52 ^{bcd}	0.54584	±1.33702	42.71 ^{ab}	0.68224	±1.67113
Kompost 4 t da ⁻¹	45.83 ^{cd}	0.08508	±0.20841	44.13 ^a	0.12533	±0.30700
Anız 1 t da ⁻¹	47.82 ^{abc}	0.51072	±1.25100	42.15 ^{ab}	0.31618	±0.77448
Anız 2 t da ⁻¹	48.54 ^{ab}	1.26943	±3.10945	41.48 ^{ab}	1.16880	±2.86297
Anız 4 t da ⁻¹	50.07 ^a	0.10253	±0.25116	43.93 ^a	0.16067	±0.39357
Yeşil Aksam 1 t da ⁻¹	42.21 ^f	0.08865	±0.21714	42.45 ^{ab}	0.37869	±0.92760
Yeşil Aksam 2 t da ⁻¹	45.12 ^{de}	0.14780	±0.36204	43.16 ^{ab}	0.11426	±0.27989
Yeşil Aksam 4 t da ⁻¹	45.15 ^{de}	0.29862	±0.73146	42.89 ^{ab}	0.35005	±0.85743
p	***			***		
Skewness	0.218			-0.913		
Kurtosis	-0.504			-0.004		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *:P<0.05, **:P<0.01, NS: Önemsiz, ***:P<0.001

***: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.

Arpa üretiminde SN değeri sıkışmış ve sıkışmamış alanlarda ölçümler yapılmıştır (Çizelge 4.18).

Kompost uygulamasının SN ölçümleri sıkışmış alanda ve sıkışmamış alanda 1, 2 ve 4 ton da⁻¹ uygulama dozları kontrol grubuna göre değerlendirildiğinde istatistiki olarak anlamlı farklılık oluşturmamıştır (p<0.001). Anız uygulaması SN değeri üzerinde

sıkışmamış alan ölçümlerinde 1 ton da⁻¹ doz uygulama kontrol grubuna göre anlamlı farklılık oluşturmuşken, sıkışmış alanda yapılan ölçümlerde 1 ve 2 ton da⁻¹ doz uygulamasının anlamlı farklılık oluşturduğu görülmüştür. Yeşil aksam uygulaması ise sıkışmış ve sıkışmamış alan 1, 2 ve 4 ton da⁻¹ uygulama dozları SN ölçümlerinde kontrol grubuna göre anlamlı bir değişikliğe sebep olmuştur.

Çizelge 4.18: Kullanılan organik materyallerin arpa üretiminde sıkışmış ve sıkışmamış alanda SN değerine etkileri

Arpa Uygulamalar	Sıkışmış SN (%)			Sıkışmamış SN (%)		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	24.6084 ^c	0.82807	±2.02834	23.1734 ^b	0.89738	±2.19813
Kompost 1 t da ⁻¹	27.3999 ^{abc}	0.66636	±1.63224	25.4499 ^{ab}	0.68872	±1.68701
Kompost 2 t da ⁻¹	27.3686 ^{abc}	0.84829	±2.07788	24.4186 ^{ab}	0.78568	±1.92452
Kompost 4 t da ⁻¹	26.2112 ^{bc}	0.79743	±1.95329	22.9862 ^b	0.75942	±1.86018
Anız 1 t da ⁻¹	28.8210 ^{ab}	0.71963	±1.76273	27.0760 ^a	0.77553	±1.89966
Anız 2 t da ⁻¹	28.4188 ^{ab}	0.64741	±1.58583	26.2338 ^{ab}	0.58704	±1.43795
Anız 4 t da ⁻¹	27.2862 ^{abc}	0.68480	±1.67740	24.7362 ^{ab}	0.74293	±1.81981
Yeşil Aksam 1 t da ⁻¹	28.2479 ^{ab}	0.30504	±0.74720	26.9779 ^a	0.27374	±0.67052
Yeşil Aksam 2 t da ⁻¹	30.0321 ^a	0.48163	±1.17975	27.3571 ^a	0.42126	±1.03186
Yeşil Aksam 4 t da ⁻¹	29.9394 ^a	0.20465	±0.50128	27.5744 ^a	0.15769	±0.38626
p	***			***		
Skewness	-0.624			-0.652		
Kurtosis	-0.106			-0.414		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *:P<0.05, **:P<0.01, NS: Önemsiz, ***:P<0.001
****: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.

Arpa yetiştirilen dönemde sıkışmış ve sıkışmamış alanlarda FSK değerleri incelenmiştir (Şekil 4.21).

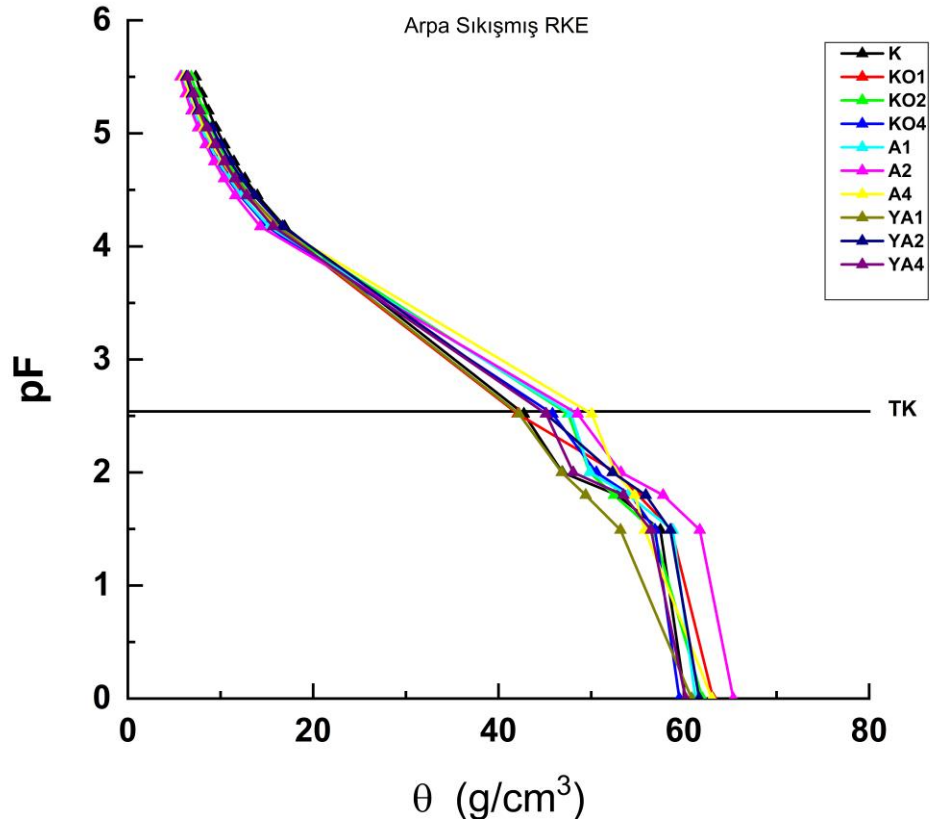
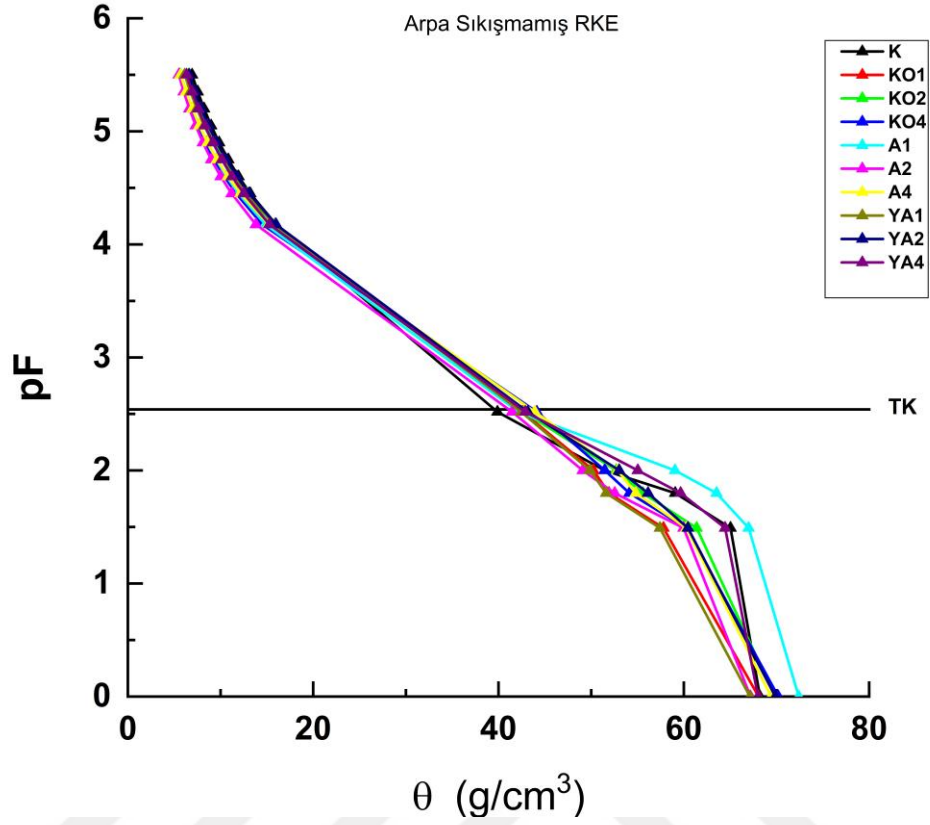
Kompost uygulamasının sıkışmamış alan ölçümlerinde FSK değerinde kontrol grubuna göre 4 ton da⁻¹ doz kompost uygulaması istatistiki olarak anlamlı farklılıklar oluşturmuş fakat dozlar arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır (p<0.001). Sıkışmış alan ölçümlerinde ise kompost uygulamaları dozlar arasında ve kontrol grubuna göre istatistiki olarak farkları önemsizdir. Anız uygulamasının 1,2 ve 4 ton da⁻¹ doz uygulamaları sıkışmamış alan ölçümlerinde kontrol grubuna göre istatistiki olarak farkları önemsizdir. Sıkışmış alan ölçümlerinde ise anız 4 ton da⁻¹ doz uygulaması istatistiki olarak anlamlı farklılık oluşturmuştur. Yeşil aksam uygulamasının FSK değeri sıkışmış ve sıkışmamış alan ölçümlerinde farklılıklar kontrol grubuna göre önemsizdir (Çizelge 4.19).

Çizelge 4.19: Kullanılan organik materyallerin arpa üretiminde sıkışmış ve sıkışmamış alanda FSK değerine etkileri

Arpa Uygulamalar	Sıkışmış FSK (%)			Sıkışmamış FSK (%)		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	18.1361 ^{bcd}	1.09885	±2.69163	16.7161 ^{bc}	1.00941	±2.47254
Kompost 1 t da ⁻¹	14.6758 ^{de}	0.13562	±0.33219	17.1608 ^{abc}	0.48377	±1.18500
Kompost 2 t da ⁻¹	20.1498 ^{ab}	1.39413	±3.41490	18.2948 ^{abc}	1.46792	±3.59565
Kompost 4 t da ⁻¹	19.6231 ^{ab}	0.71235	±1.74488	21.1481 ^a	0.63408	±1.55318
Anız 1 t da ⁻¹	19.0010 ^{abc}	1.23035	±3.01373	15.0710 ^c	1.09171	±2.67414
Anız 2 t da ⁻¹	20.1227 ^{ab}	0.62201	±1.52362	15.2427 ^{bc}	0.58176	±1.42503
Anız 4 t da ⁻¹	22.7790 ^a	0.58226	±1.42624	19.1890 ^{ab}	0.58226	±1.42624
Yeşil Aksam 1 t da ⁻¹	13.9598 ^e	0.21640	±0.53006	15.4748 ^{bc}	0.65243	±1.59812
Yeşil Aksam 2 t da ⁻¹	15.0864 ^{cde}	0.33383	±0.81770	15.8064 ^{bc}	0.30699	±0.75198
Yeşil Aksam 4 t da ⁻¹	15.2078 ^{cde}	0.09397	±0.23018	15.3178 ^{bc}	0.19236	±0.47118
p	***			***		
Skewness	0.460			0.556		
Kurtosis	-1.299			-0.347		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *:P<0.05, **:P<0.01, NS: Önemsiz, ***:P<0.001
****: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.

Yapılan bir çalışmada toprağa çöp kompostunun uygulanması sonucu Pb, toplam P, hidrolik iletkenlik ve su tutma kapasitesi gibi fiziksel özellikleri pozitif yönde etkilediği ve bu etkinin killi topraklarda tınlı topraklara göre daha belirgin olduğunu bildirmiştir (Aggelides ve Londra, 2000). Bir diğer çalışmada sığır gübresi, koyun gübresi, kümes hayvanları gübresi, bitki artıkları ve bu artık/atıkların eşit miktarda karıştırılması ile elde edilen kompost materyallerinin belirli dozlarda toprağa uygulanması ile 60 günlük inkübasyon sonucu toprağın fiziksel özellikleri incelenmiştir. Toprakların pF değerleri (pF 2.54-4.2), hidrolik iletkenlik ve atterbeg kıvam limitlerini artırdığı ortaya çıkmıştır. Ayrıca doz artışı ile Pb değerlerinin azaldığını göstermiştir (Temiz ve ark., 2021).



Şekil 4.21 Arpa ekili alanda sıkışmamış ve sıkışmış örneklerin rutubet karakteristik eğrileri

4.10. Uygulamaların Penetrasyon Direncine (PD) Etkisi

Farklı dozlarda kompost, anız ve yeşil aksam uygulamalarının parsellerde traktör trafiğine maruz kalmış (sıkışmış) ve traktörün geçmediği (sıkışmamış) alanlarda PD toprağın 0-40 cm derinliklerinde ölçümler yapılarak belirlenmiştir.

İlk yıl mısır yetiştirilen parsellerde sıkışmamış alanlarda 0-10 cm derinlikte, kompost uygulaması yapılan topraktaki PD değeri anlamlı farklılık göstermiştir ($p<0.001$). Kompostun 2 ve 4 ton da^{-1} uygulama dozları kontrol değerine göre anlamlı farklılık oluşturmuştur. Anız uygulaması incelendiğinde bu uygulama sonucunda 1, 2 ve 4 ton da^{-1} doz uygulamaları kontrol grubuna göre anlamlı farklılık oluşturmuştur. Yeşil aksam uygulaması sonucundaki değerler incelendiğinde anız uygulamasında olduğu gibi 1, 2 ve 4 ton da^{-1} doz uygulamaları kontrol grubuna göre istatistiki olarak anlamlı farklılık oluşturmuştur. Bunun yanında yeşil aksam uygulamasında 4 ton da^{-1} doz uygulama 1 ve 2 ton da^{-1} doz uygulamalarına göre anlamlı farklılık oluşturmuştur (Çizelge 4.20).

Mısır yetiştirilen parselden alınan sıkışmış alandaki PD ölçümleri 0-10 cm derinlikte incelendiğinde Kompost, anız ve yeşil aksam uygulamalarındaki değişim kontrol değerlerine göre anlamlı farklılık oluşturmamıştır ($p<0.01$).

Çizelge 4.20: Kullanılan organik materyallerin mısır üretiminde sıkışmış ve sıkışmamış alanda 0-10 cm PD değerine etkileri

Mısır Uygulamalar	Sıkışmış PD (MPa)			Sıkışmamış PD (MPa)		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	1.85 ^{ab}	0.15506	±0.63910	0.79 ^e	0.04015	±0.25394
Kompost 1 t da^{-1}	1.99 ^b	0.13238	±0.83727	0.69 ^{de}	0.02745	±0.17359
Kompost 2 t da^{-1}	1.71 ^{ab}	0.10464	±0.66180	0.62 ^{bcd}	0.01562	±0.09876
Kompost 4 t da^{-1}	1.38 ^a	0.08282	±0.52378	0.55 ^{bc}	0.01187	±0.07505
Anız 1 t da^{-1}	1.62 ^{ab}	0.11348	±0.71768	0.62 ^{bcd}	0.02452	±0.15505
Anız 2 t da^{-1}	1.89 ^{ab}	0.08987	±0.56839	0.51 ^{ab}	0.01415	±0.08952
Anız 4 t da^{-1}	1.87 ^{ab}	0.06838	±0.43248	0.59 ^{bcd}	0.01891	±0.11959
Yeşil Aksam 1 t da^{-1}	1.53 ^{ab}	0.07638	±0.48309	0.62 ^{bcd}	0.02035	±0.12873
Yeşil Aksam 2 t da^{-1}	1.52 ^{ab}	0.10315	±0.65236	0.65 ^{cd}	0.02859	±0.18084
Yeşil Aksam 4 t da^{-1}	1.66 ^{ab}	0.10651	±0.67360	0.40 ^a	0.00866	±0.05476
p	**			***		
Skewness	0.229			0.997		
Kurtosis	-0.005			0.8435		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *: $P<0.05$, **: $P<0.01$, NS: Önemsiz, ***: $P<0.001$
****: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.

Mısır yetiştirilen parselde ölçülen PD değerleri, sıkışmamış alanda 10-20 cm derinlikte kompost uygulaması yapılan numuneler incelenmiştir. Uygulama sonucunda 1 ve 2 ton da^{-1} dozların kontrole göre anlamlı düzeyde farklılık oluşturduğu görülmektedir

($p < 0.001$). 4 ton da^{-1} doz uygulamada istatistiki olarak anlamlı değişiklik gözlemlenmemiştir. Anız uygulamaları sonuçları değerlendirildiğinde kontrole göre anlamlı farklılık 2 ve 4 ton da^{-1} dozlarda bulunmuştur. Yeşil aksam uygulaması sonuçları değerlendirdiğinde 1, 2 ve 4 ton da^{-1} lik uygulamaların kontrol grubuna göre anlamlı farklılık oluşturmuştur

Mısır yetiştirilen parselde sıkışmış alan ölçümlerinde 10-20 cm derinlikteki PD ölçümleri incelendiğinde kompost uygulaması 2 ve 4 ton da^{-1} doz uygulamalarında istatistiki olarak anlamlı farklılık oluşturmuştur ($p < 0.001$). Anız uygulaması incelendiğinde 2 ve 4 ton da^{-1} doz uygulamalar anlamlı farklılık oluşturmuştur ($p < 0.05$). Yeşil aksam uygulaması değerlendirildiğinde 1, 2 ve 4 ton da^{-1} doz uygulamalar kontrole göre istatistiki olarak anlamlı sonuçlar elde etmemizi sağlamıştır (Çizelge 4.21).

Çizelge 4.21: Kullanılan organik materyallerin mısır üretiminde sıkışmış ve sıkışmamış alanda 10-20 cm PD değerine etkileri

Mısır Uygulamalar	Sıkışmış PD (MPa)			Sıkışmamış PD (MPa)		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	3.00 ^c	0.13143	±0.83123	1.03 ^d	0.04935	±0.31211
Kompost 1 t da^{-1}	2.69 ^{bc}	0.02985	±0.18877	0.74 ^{bc}	0.04867	±0.30781
Kompost 2 t da^{-1}	2.34 ^{ab}	0.05590	±0.35352	0.73 ^{bc}	0.04063	±0.25696
Kompost 4 t da^{-1}	1.99 ^a	0.07706	±0.48738	0.87 ^{cd}	0.06429	±0.40658
Anız 1 t da^{-1}	2.63 ^{bc}	0.12127	±0.76699	0.91 ^{cd}	0.08574	±0.54228
Anız 2 t da^{-1}	2.39 ^{ab}	0.06723	±0.42522	0.62 ^{ab}	0.03631	±0.22966
Anız 4 t da^{-1}	2.41 ^{ab}	0.13814	±0.87365	0.70 ^{abc}	0.03060	±0.19353
Yeşil Aksam 1 t da^{-1}	2.13 ^a	0.09455	±0.59798	0.64 ^{ab}	0.02385	±0.15083
Yeşil Aksam 2 t da^{-1}	2.39 ^{ab}	0.06428	±0.40653	0.72 ^{abc}	0.04259	±0.26938
Yeşil Aksam 4 t da^{-1}	2.45 ^{ab}	0.07306	±0.46206	0.50 ^a	0.02521	±0.15942
p	***			***		
Skewness	0.606			1.545		
Kurtosis	0.850			2.658		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$, NS: Önemsiz, ***: $P < 0.001$
 ***: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.

Mısır yetiştirilen parsellerde yapılan PD ölçümleri sıkışmış alanda 20-40 cm derinlikte incelenmiştir (Çizelge 4.22). Sıkışmış alanda kompost uygulaması sonucunda ölçülen PD değerleri karşılaştırıldığında tüm dozlar kontrol grubuna göre anlamlı farklılık oluşturmuştur ($p < 0.001$). Buna ek olarak kompost uygulamasındaki doz artışının, dozlar arası değerlendirilmesi ile istatistiki olarak anlamlı farklılık ortaya çıkmaktadır. Anız uygulaması sonrasındaki ölçümler incelendiğinde tüm uygulama dozlarının kontrol grubuna göre anlamlı farklılık oluşturduğu görülmektedir. Yeşil aksam uygulaması sonucunda 1, 2 ve 4 ton da^{-1} doz uygulamaları kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı farklılık oluşturmuştur.

Sıkışmamış alanda yapılan 20-40cm derinlikte yapılan ölçümlerde, kompost uygulaması sonucundaki değerler karşılaştırıldığında 1, 2 ve 4 ton da⁻¹ doz uygulamaları kontrol grubuyla anlamlı farklılık oluşturmuştur (p<0.001). Anız uygulamasında ve yeşil aksam uygulamasında, 1, 2 ve 4 ton da⁻¹ doz uygulamaları kontrol grubuna göre anlamlı farklılık oluşturmuştur.

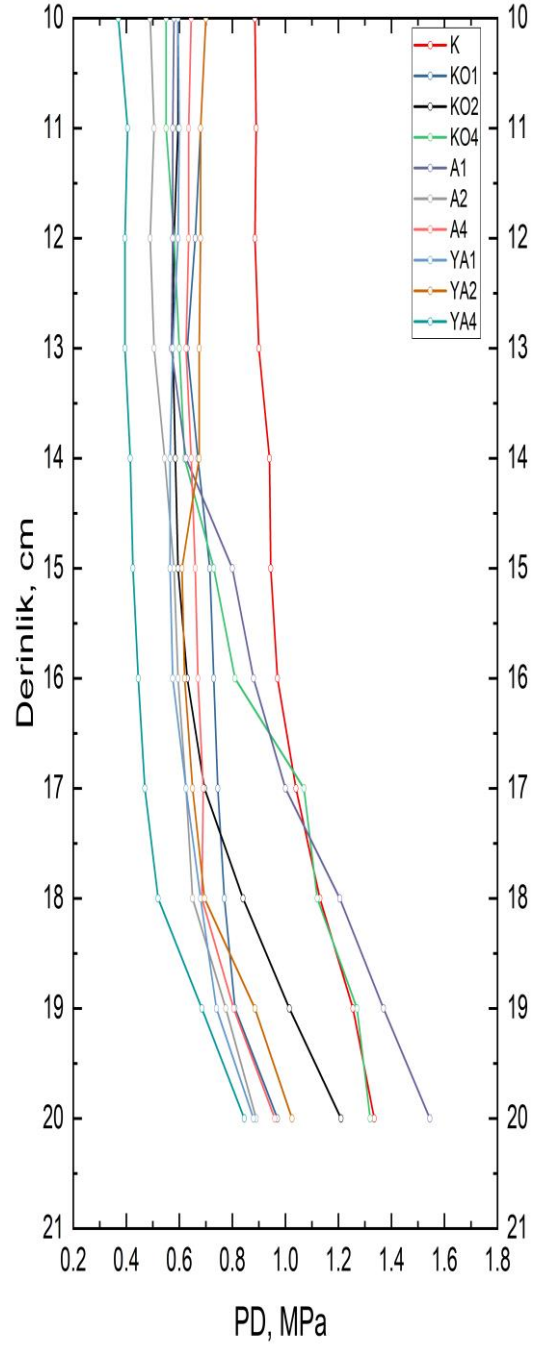
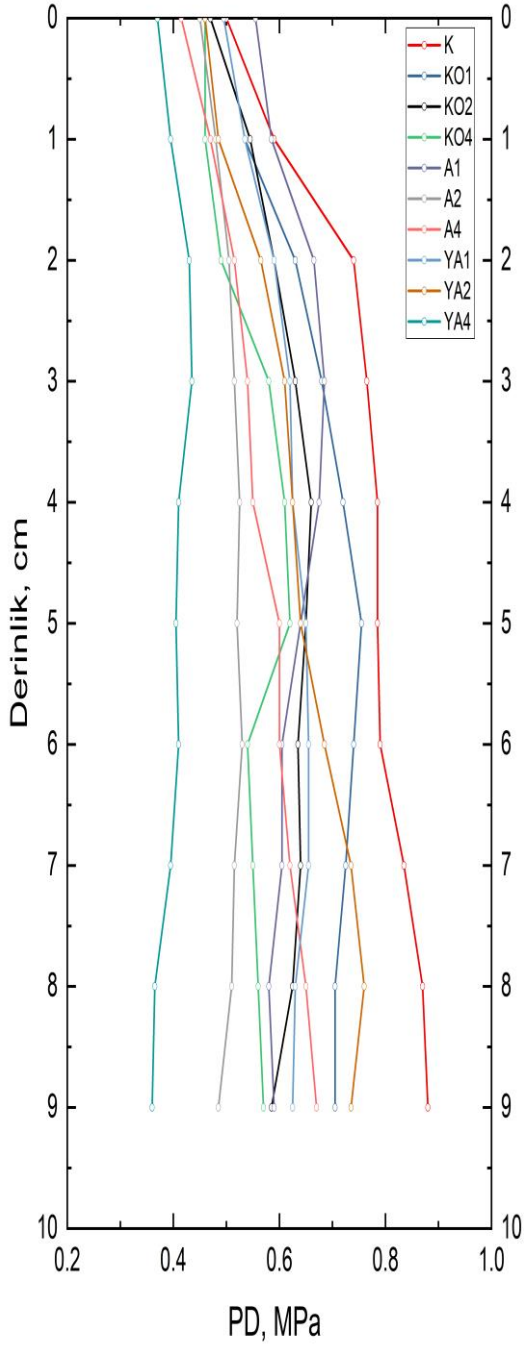
Çizelge 4.22: Kullanılan organik materyallerin mısır üretiminde sıkışmış ve sıkışmamış alanda 20-40 cm PD değerine etkileri

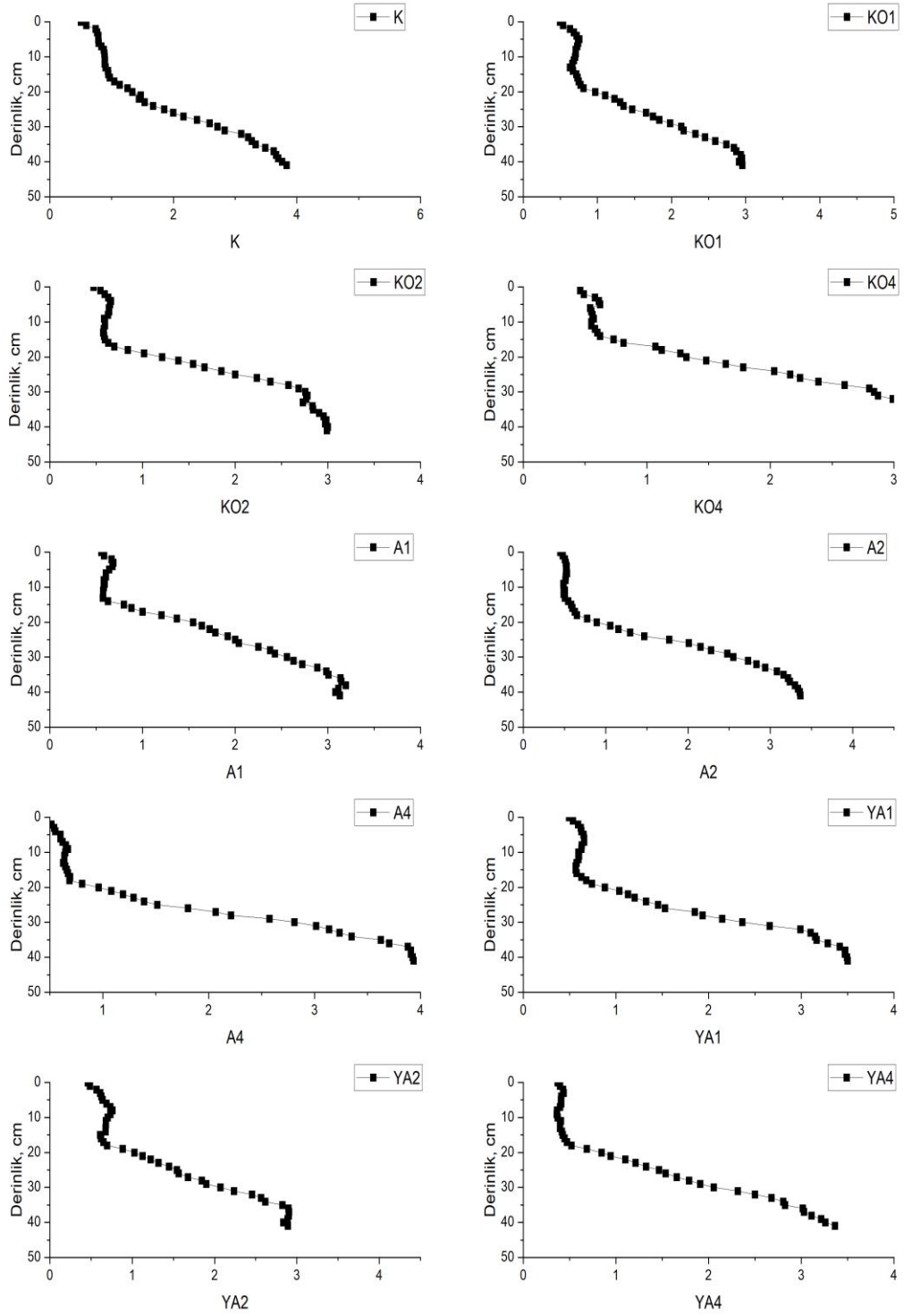
Mısır Uygulamalar	Sıkışmış PD (MPa)			Sıkışmamış PD (MPa)		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	4.44 ^d	0.13415	±1.19991	2.81 ^d	0.10068	±0.90049
Kompost 1 t da ⁻¹	3.69 ^c	0.10742	±0.96079	2.22 ^c	0.08157	±0.72959
Kompost 2 t da ⁻¹	3.18 ^{bc}	0.10773	±0.96956	2.57 ^b	0.06593	±0.59337
Kompost 4 t da ⁻¹	2.54 ^a	0.08011	±0.71202	2.76 ^a	0.06450	±0.57330
Anız 1 t da ⁻¹	3.19 ^b	0.09457	±0.84588	2.61 ^b	0.07386	±0.66059
Anız 2 t da ⁻¹	3.41 ^{bc}	0.05822	±0.52395	2.56 ^{bc}	0.09251	±0.83263
Anız 4 t da ⁻¹	2.98 ^{ab}	0.10268	±0.91263	2.85 ^{ab}	0.14668	±1.30376
Yeşil Aksam 1 t da ⁻¹	3.02 ^b	0.08871	±0.79346	2.53 ^b	0.12844	±1.14884
Yeşil Aksam 2 t da ⁻¹	3.30 ^b	0.07238	±0.65143	2.22 ^{bc}	0.07950	±0.71554
Yeşil Aksam 4 t da ⁻¹	3.15 ^{bc}	0.08232	±0.73169	2.32 ^b	0.09307	±0.82725
p	***			***		
Skewness	0604			0.4361		
Kurtosis	0.489			0.589		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *:P<0.05, **:P<0.01, NS: Önemsiz, ***:P<0.001
***: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.

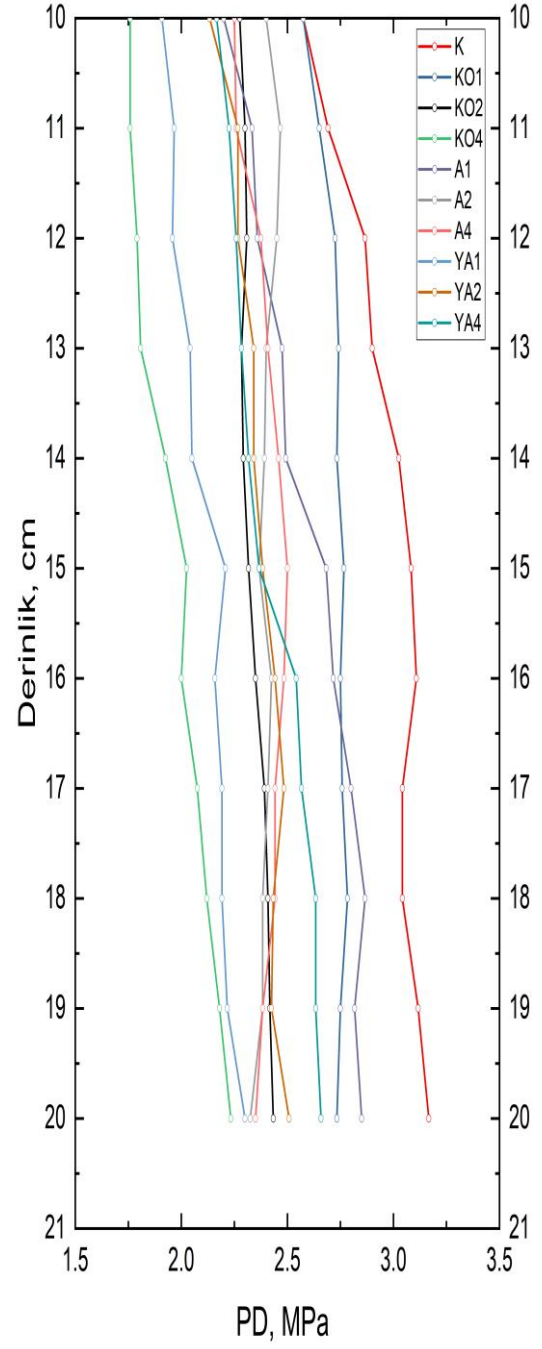
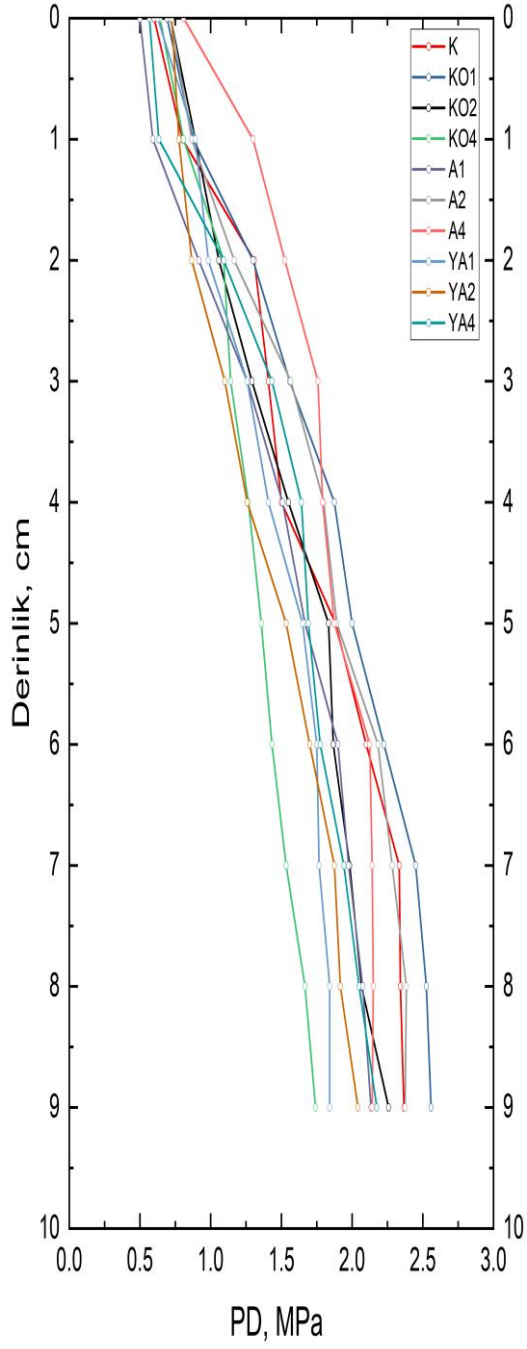
Mısır yetiştirilen parsellerde hasat zamanı traktör geçişiyle oluşan toprak sıkışması kontrol parselindeki PD değeri, kompost, anız ve yeşil aksam uygulamaları yapılan parsellerden daha yüksek miktarlarda ölçüm yapılmıştır. Uygulamalarda dozlar arttıkça PD değerlerinde azalmalar görülmektedir. Traktör geçişinden(sıkışmış) sonra tekerlek izleri üzerinde yapılan ölçümlerde 0-20 cm derinlikte en yüksek değer kontrol parsellerinde ve daha sonra 1 ton da⁻¹ doz uygulamalarında sırasıyla anız, kompost ve yeşil aksam parsellerinde olduğu görülmektedir (Şekil 4.24-27). Uygulamalar arasında en düşük PD değerleri yapılan uygulamaların genel olarak 4 ton da⁻¹ doz uygulamalarında görülmüştür. Daha önce yapılan çalışmalarda Yerli ve Sahin (2023) tarafından geliştirilen bir gübre ve biyokömür uygulamalarının toprak organik madde miktarını artırdığı ve bu durumun toprak nemi ile penetrasyon direncine olumlu etkileri olduğunu belirlemişlerdir. Kara ve ark. (2022) ise, farklı organik gübrelerin toprak nemleri ve hidrolik iletkenlik üzerindeki durumları incelemiş ve organik madde uygulamalarının bu etkilerde belirgin artışlar gösterilmiştir. Bu çalışmalar, organik madde artışının toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirdiğini ve penetrasyon direncini düşürdüğünü desteklemiştir.

Penetrasyon direncinin belirlenmesinde, toprağın yersel değişiminde toprak organik maddesi önemli bir rol oynamaktadır.



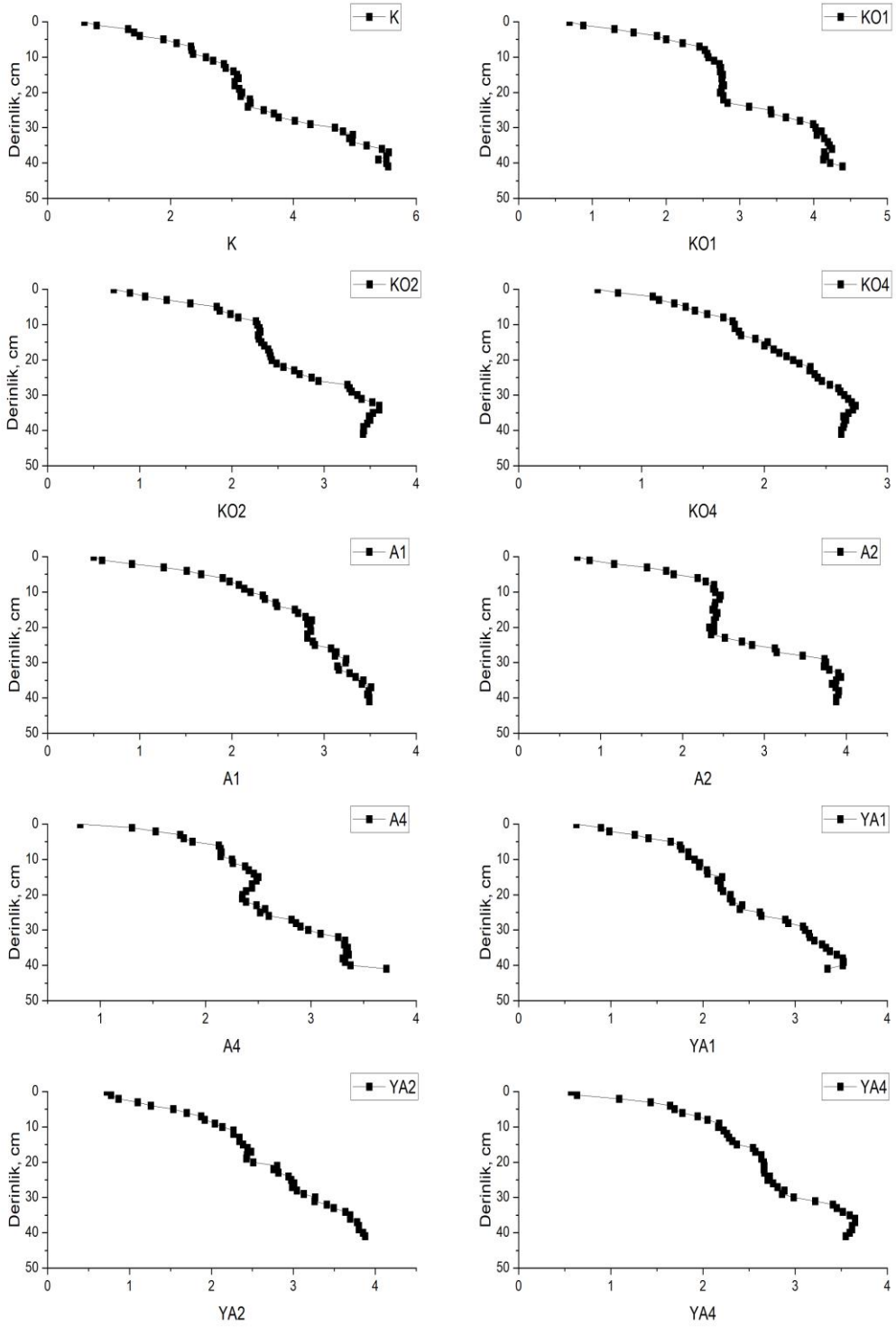


Şekil 4.24 Mısır ekili alanda sıkışmamış örneklerin penetrasyon direncine etkisinin bireysel gösterimi



Şekil 4.25 Mısır ekili alanda sıkışmış örneklerin penetrasyon direncine etkisinin 0-10cm arası değişimi

Şekil 4.26 Mısır ekili alanda sıkışmış örneklerin penetrasyon direncine etkisinin 10-20cm arası değişimi



Şekil 4.27 Mısır ekili alanda sıkışmış örneklerin penetrasyon direncine etkisinin bireysel gösterimi

İkinci yıl arpa yetiştirilen parsellerde 0-10 cm derinlikte sıkışmış alanda uygulanan organik materyaller ve dozlarına göre PD değerleri incelenmiştir (Çizelge 4.23). Kompost uygulaması sonucunda sadece 4 ton da⁻¹ doz uygulaması kontrol grubuna göre anlamlı farklılık oluşturmuştur (p<0.001). Bununla birlikte anız ve yeşil aksam uygulamalarında kontrol grubuna göre anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (Şekil 4.31).

Sıkışmamış alanda yapılan 0-10 cm derinlikteki ölçümler sonucu kompost uygulamasında yalnızca 4 ton da⁻¹ uygulama dozu kontrol grubuna göre anlamda farklılık oluşturmuştur (p<0.001). Anız uygulaması anlamlı farklılığa sebep olmamakla beraber yeşil aksam uygulamasında kompost gibi sadece 4 ton da⁻¹ doz uygulama anlamlı farklılık oluşturmuştur (Şekil 4.28).

Çizelge 4.23: Kullanılan organik materyallerin arpa üretiminde sıkışmış ve sıkışmamış alanda 0-10 cm PD değerine etkileri

Arpa Uygulamalar	Sıkışmış PD (MPa)			Sıkışmamış PD (MPa)		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	2.05 ^{bc}	0.06611	±0.29564	1.59 ^{cd}	0.09503	±0.42498
Kompost 1 t da ⁻¹	2.21 ^{bc}	0.23462	±1.04926	1.54 ^{bcd}	0.14391	±0.64357
Kompost 2 t da ⁻¹	1.99 ^{bc}	0.18701	±0.83633	1.70 ^d	0.15795	±0.70636
Kompost 4 t da ⁻¹	0.78 ^a	0.04875	±0.21800	0.89 ^{ab}	0.06109	±0.27319
Anız 1 t da ⁻¹	2.34 ^c	0.14770	±0.66052	1.52 ^{bcd}	0.25599	±1.14483
Anız 2 t da ⁻¹	1.55 ^b	0.14627	±0.65414	1.94 ^d	0.15329	±0.68555
Anız 4 t da ⁻¹	1.56 ^b	0.16113	±0.72058	1.01 ^{abc}	0.07721	±0.34531
Yeşil Aksam 1 t da ⁻¹	1.86 ^{bc}	0.19143	±0.85611	1.68 ^d	0.21167	±0.94661
Yeşil Aksam 2 t da ⁻¹	1.67 ^{bc}	0.20636	±0.92287	1.66 ^{cd}	0.16014	±0.71619
Yeşil Aksam 4 t da ⁻¹	2.06 ^{bc}	0.16356	±0.73145	0.76 ^a	0.04611	±0.20622
p	***			***		
Skewness	-0.199			0.805		
Kurtosis	-0.933			0.342		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *:P<0.05, **:P<0.01, NS: Önemsiz, ***:P<0.001
***: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.

Arpa yetiştirilen dönemde yapılan 10-20 cm derinlikte sıkışmış alanda toprağa uygulanan organik materyaller ve dozlarına göre PD değeri incelenmiştir (Çizelge 4.24). Kompost uygulaması sonucundaki PD değeri incelendiğinde 4 ton da⁻¹ doz uygulama kontrol grubuyla anlamlı farklılık oluşturmuştur (p<0.001). Anız uygulamasının sonuçları değerlendirildiğinde burada anlamlı farklılık 2 ve 4 ton da⁻¹ doz uygulamalarda anlamlı farklılık elde edilmiştir. Yeşil aksam uygulaması sonuçları değerlendirildiğinde burada da sadece 4 ton da⁻¹ doz uygulama kontrol grubu ile anlamlı farklılık oluşturmuştur (Şekil 4.32).

Sıkışmamış alanda yapılan incelemeler sonucunda ise kompost uygulaması PD değeri değerlendirildiğin de en düşük dozda uygulama yapılması bile kontrol grubuna göre istatistiki olarak anlamlı farklılık oluşturmuştur ($p<0.001$). Anız uygulaması için de kompost uygulaması ile paralel sonuç elde edilmekte, 1, 2 ve 4 ton da^{-1} uygulama dozları kontrol grubuna göre anlamlı farklılık oluşturmuştur. Yeşil aksam uygulaması incelendiğinde burada 2 ve 4 ton da^{-1} uygulamalar kontrol grubuna göre anlamlı farklılık oluşturmuştur (Şekil 4.29).

Çizelge 4.24: Kullanılan organik materyallerin arpa üretiminde sıkışmış ve sıkışmamış alanda 10-20 cm PD değerine etkileri

Arpa Uygulamalar	Sıkışmış PD (MPa)			Sıkışmamış PD (MPa)		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	2.87 ^{cd}	0.09593	±0.42900	3.02 ^g	0.09293	±0.41559
Kompost 1 t da^{-1}	2.45 ^{bc}	0.01147	±0.05130	2.43 ^{def}	0.08280	±0.37031
Kompost 2 t da^{-1}	2.52 ^{bc}	0.11530	±0.51565	2.14 ^{de}	0.04558	±0.20384
Kompost 4 t da^{-1}	1.48 ^a	0.05779	±0.25844	1.26 ^{ab}	0.02449	±0.10954
Anız 1 t da^{-1}	2.79 ^{cd}	0.07089	±0.31702	2.57 ^{ef}	0.13380	±0.59838
Anız 2 t da^{-1}	2.30 ^b	0.13018	±0.58219	1.67 ^{bc}	0.03253	±0.14546
Anız 4 t da^{-1}	2.30 ^b	0.04702	±0.21026	1.14 ^a	0.10141	±0.45352
Yeşil Aksam 1 t da^{-1}	3.24 ^d	0.14822	±0.66285	2.82 ^{fg}	0.09173	±0.41023
Yeşil Aksam 2 t da^{-1}	2.44 ^{bc}	0.10600	±0.47404	2.05 ^{cd}	0.06977	±0.31204
Yeşil Aksam 4 t da^{-1}	2.18 ^b	0.12983	±0.58063	1.44 ^{ab}	0.14751	±0.65966
p	***			***		
Skewness	0.316			0.066		
Kurtosis	0348			-0.594		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *: $P<0.05$, **: $P<0.01$, NS: Önemsiz, ***: $P<0.001$

***: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.

Arpa yetiştirilen parsellerde, sıkışmış alanda ölçüm yapılan 20-40 cm derinlikte PD değerleri incelenmiştir (Çizelge 4.25). Kompost uygulaması sonucundaki değerler incelendiğinde hem uygulamanın tüm dozları kontrole göre istatistiki olarak anlamlı sonuç vermiştir hem de dozlar arasındaki artış PD değerinde anlamlı farklılıklar oluşturmuştur ($p<0.001$). Anız uygulaması da kompost uygulaması gibi 1, 2 ve 4 ton da^{-1} doz uygulamaları kontrol grubuna anlamlı farklılık oluşturmuş ve dozlar arasındaki artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Yeşil aksam uygulaması sonucundaki değerler incelendiğinde tüm doz uygulamaları kontrole göre anlamlı farklılık oluşturmuş ve dozlar arasında düzenli artış sonuçları anlamlı düzeyde etkilemiştir (Şekil 4.33).

Sıkışmamış alanda yapılan 20-40 cm derinlikte PD değerleri, kompost ve anız uygulamalarında tüm dozlar kontrole göre anlamlı farklılık oluşturmuştur bununla birlikte her bir doz arasındaki değişime karşılık gelen sonuçlar istatistiksel olarak anlamlı

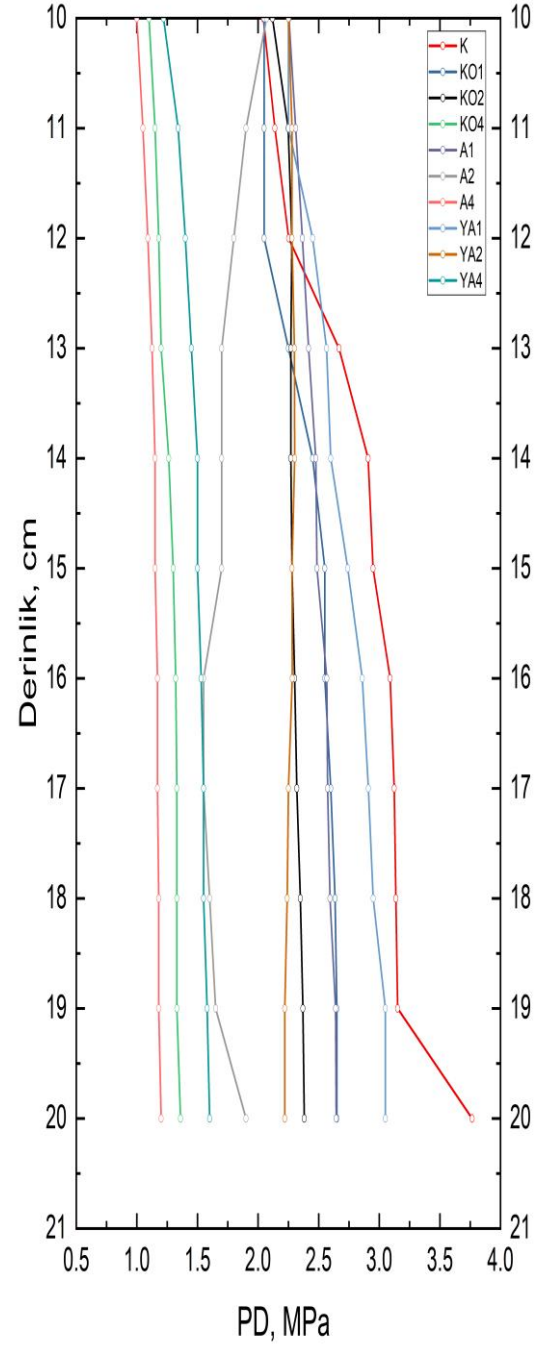
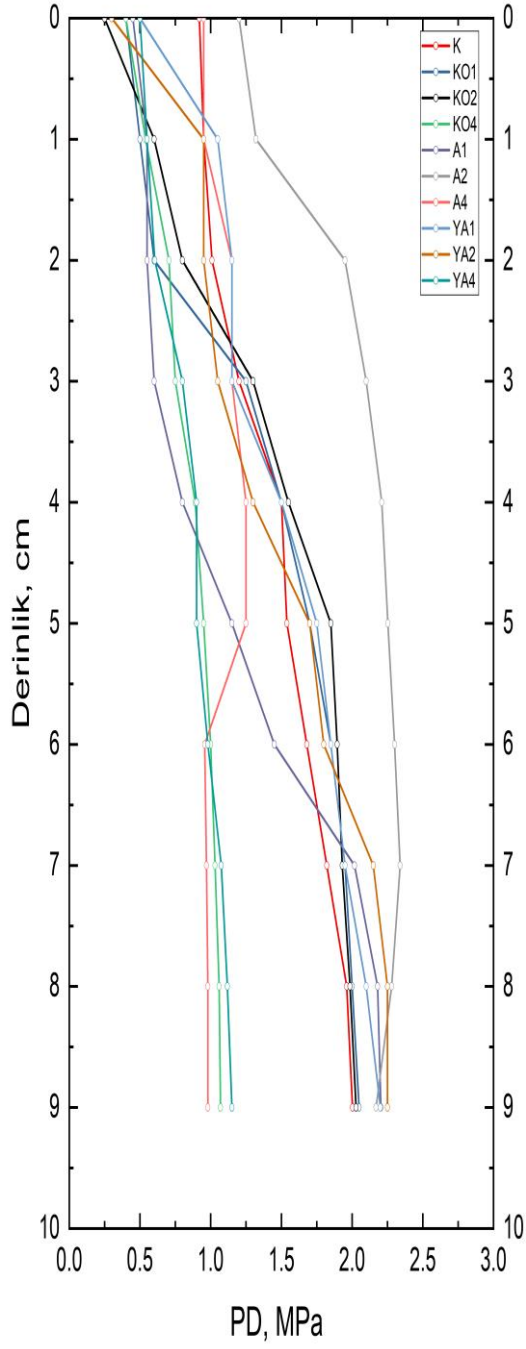
bulunmuştur ($p<0.001$). Yeşil aksam uygulamasında da uygulanan dozlar ile kontrol grubu arasında anlamlı farklılık oluşmuştur (Şekil 4.30).

Çizelge 4.25: Kullanılan organik materyallerin arpa üretiminde sıkışmış ve sıkışmamış alanda 20-40 cm PD değerine etkileri

Arpa Uygulamalar	Sıkışmış PD (MPa)			Sıkışmamış PD (MPa)		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	5.84 ^d	0.17453	±1.10382	5.13 ^g	0.13020	±0.82344
Kompost 1 t da ⁻¹	3.76 ^c	0.18622	±1.17776	3.17 ^{de}	0.12317	±0.77902
Kompost 2 t da ⁻¹	3.06 ^{ab}	0.10413	±0.65855	2.43 ^{bc}	0.05433	±0.34359
Kompost 4 t da ⁻¹	2.53 ^a	0.08107	±0.51276	1.69 ^a	0.09047	±0.57217
Anız 1 t da ⁻¹	3.66 ^{bc}	0.08124	±0.51381	3.47 ^{ef}	0.10880	±0.68814
Anız 2 t da ⁻¹	3.88 ^c	0.12726	±0.80486	2.97 ^{de}	0.05641	±0.35677
Anız 4 t da ⁻¹	2.95 ^a	0.14527	±0.91875	2.22 ^b	0.15164	±0.95903
Yeşil Aksam 1 t da ⁻¹	4.03 ^c	0.12791	±0.80899	3.70 ^f	0.03544	±0.22412
Yeşil Aksam 2 t da ⁻¹	3.79 ^c	0.18551	±1.17329	2.80 ^{cd}	0.13466	±0.85169
Yeşil Aksam 4 t da ⁻¹	3.07 ^{ab}	0.08506	±0.53799	2.83 ^{cd}	0.14457	±0.91433
P	***			***		
Skewness	0.764			0.494		
Kurtosis	0.233			0.497		

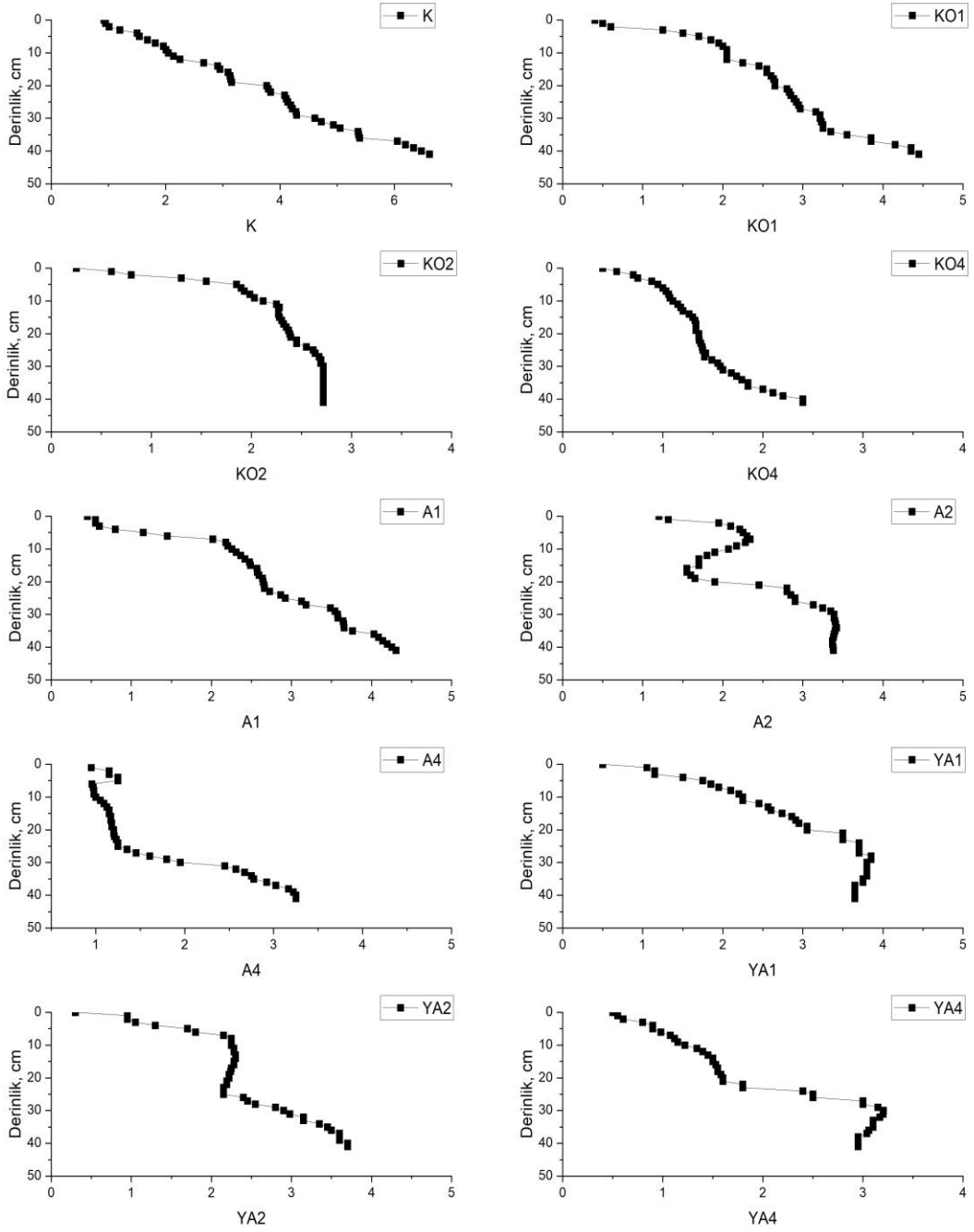
SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *:P<0.05, **:P<0.01, NS: Önemli, ***:P<0.001

***: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.

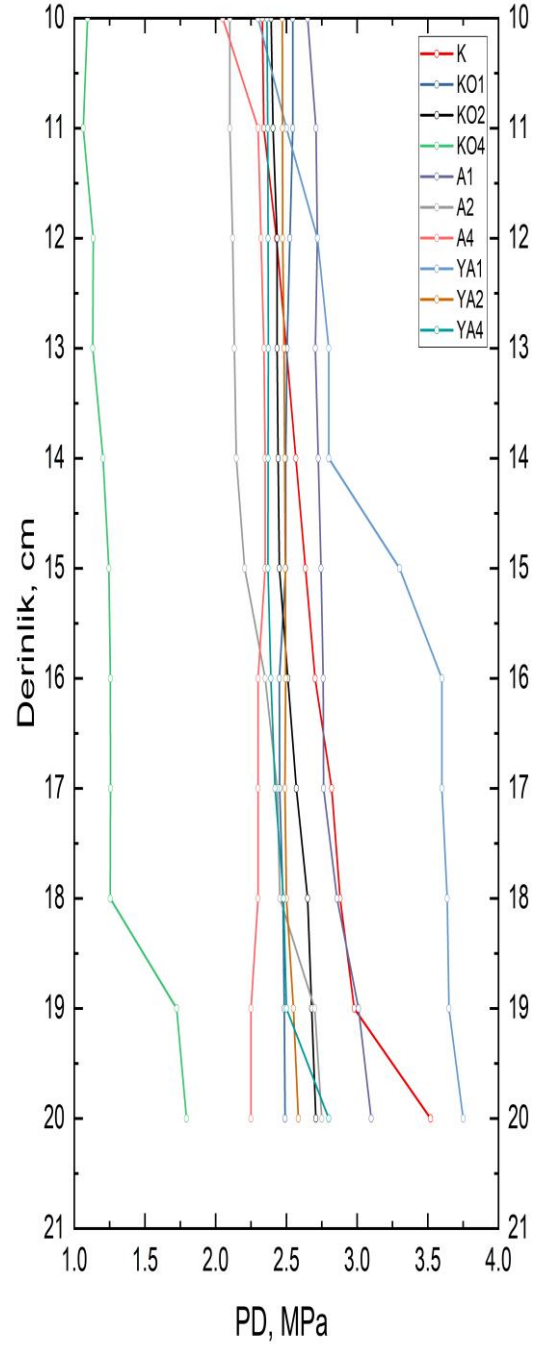
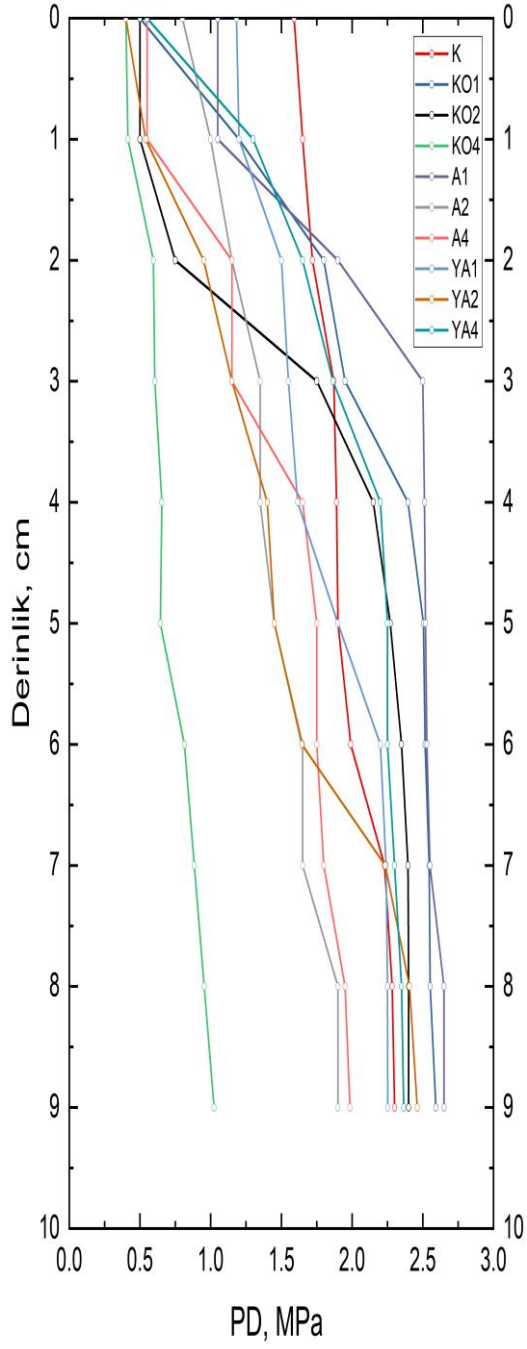


Şekil 4.28 Arpa ekili alanda sıkışmamış örneklerin penetrasyon direncine etkisinin 0-10 cm arası gösterimi

Şekil 4.29 Arpa ekili alanda sıkışmamış örneklerin penetrasyon direncine etkisinin 10-20 cm arası gösterimi

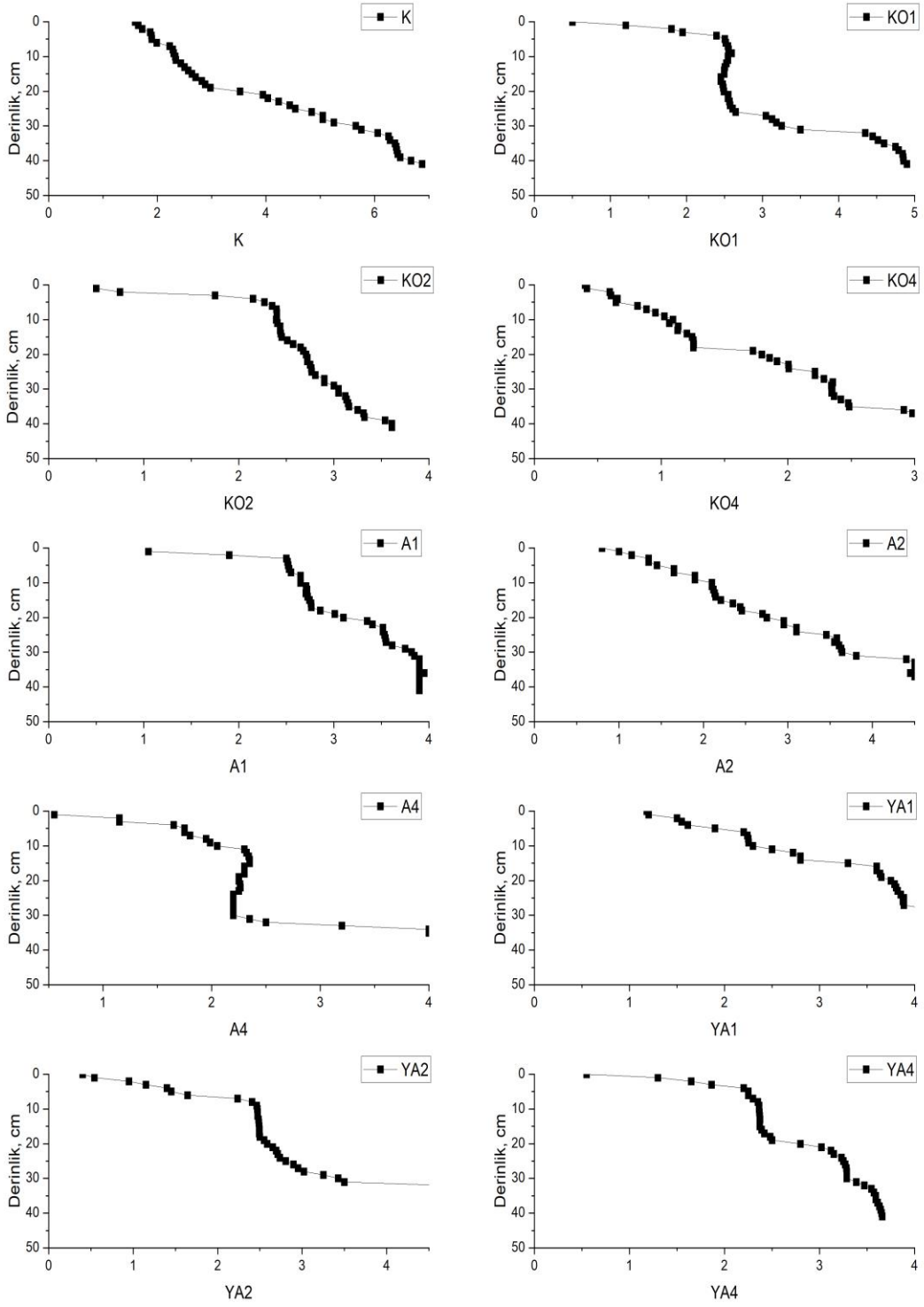


Şekil 4.30 Arpa ekili alanda sıkışmamış örneklerin penetrasyon direncine etkisinin toplu gösterimi



Şekil 4.31 Arpa ekili alanda sıkışmış örneklerin penetrasyon direncine etkisinin 0-10cm arası değişimi

Şekil 4.32 Arpa ekili alanda sıkışmış örneklerin penetrasyon direncine etkisinin 10-20cm arası değişimi



Şekil 4.33 Arpa ekili alanda sıkışmış örneklerin penetrasyon direncine etkisinin bireysel gösterimi

4.11. Uygulamaların Hidrolik İletkenlik Değerine (K) Etkisi

Uygulama yapılan arazide mısır üretimi ve arpa üretimi yapılan dönemlerden ayrı ayrı alınan örneklerde K testi yapılmıştır.

Mısır üretim döneminde kompost uygulaması K değerini anlamlı düzeyde etkilemiştir. 1, 2 ve 4 ton da^{-1} doz uygulamalarda kontrol grubuna göre anlamlı farklılık oluşturmuştur. Bununla birlikte dozlardaki artış K seviyesindeki değişimi anlamlı kılmıştır. Anız uygulaması mısır üretimi döneminde alınan örneklerde ölçülen K değerini anlamlı düzeyde etkilemiştir. 1, 2 ve 4 ton da^{-1} doz uygulamalar kontrol grubuna göre anlamlı değişiklik sağlamıştır. Bununla birlikte dozlardaki değişim K düzeyindeki değişimi istatistiksel olarak anlamlı kılmıştır. Yeşil aksam uygulaması K değeri için anlamlı farklılık oluşturmuştur. Anız uygulamasıyla paralel sonuçlar elde ettiğimiz yeşil aksam uygulamasında da 1, 2 ve 4 ton da^{-1} doz uygulamalar kontrol grubuyla anlamlı farklılık oluşturmuş ve de dozlardaki değişim kontrol grubuna kıyasla anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.26). Mısır yetiştiriciliği yapılan 1.yılda tüm organik materyaller, kontrol grubuna göre hidrolik iletkenliği önemli ölçüde artırmıştır. Özellikle 4 ton da^{-1} kompost uygulaması, toprak su geçirgenliğini yaklaşık 3 kat artırarak en yüksek etkiyi göstermiştir. Bu durum, kompostun toprakta gözenekli yapıyı güçlendirmesi ve suyun hareketi üzerine olumlu etkisiyle açıklanabilir.

Kompost, anız ve yeşil aksam uygulamaları, arpa üretim döneminde alınan örneklerden ölçülen K parametresini anlamlı düzeyde etkilemiştir. Uygulanan tüm materyallerde 1, 2 ve 4 ton da^{-1} dozlarda, uygulamalar kontrol grubuna göre anlamlı farklılık ortaya koymuştur (Şekil4.34). Aynı zamanda uygulamaların dozları arasında anlamlı farklılık görülmektedir.

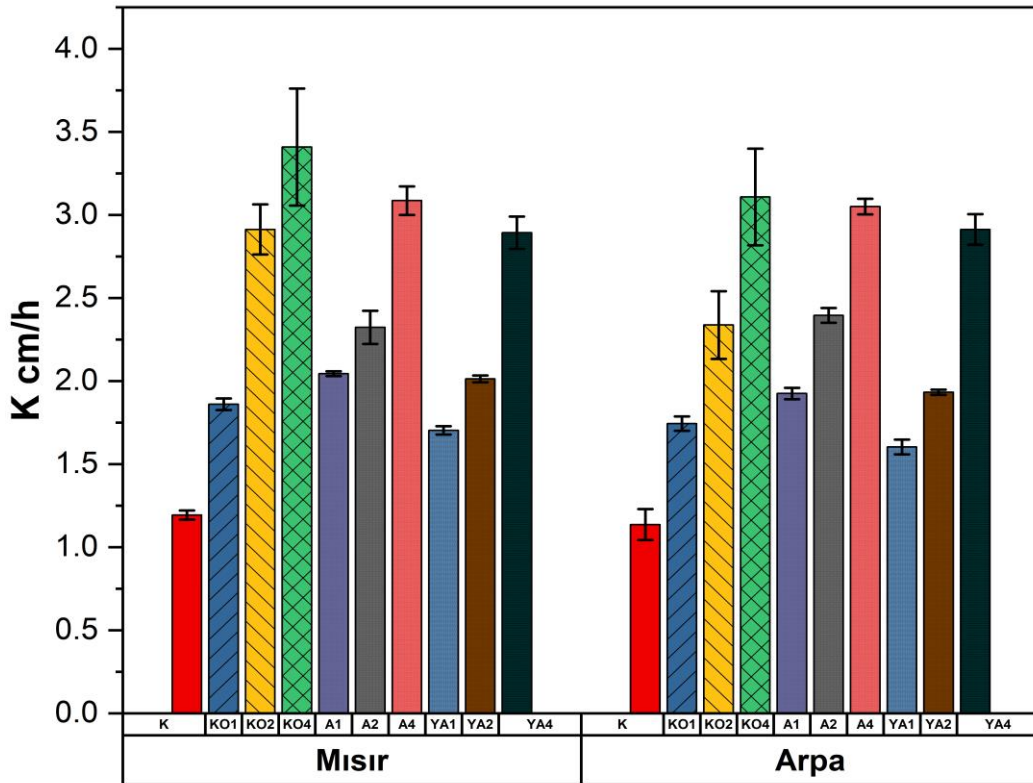
Arpa üretimi yapılan 2.yılda da benzer şekilde tüm uygulamalar, hidrolik iletkenliği artırmıştır. En yüksek değer 4 ton da^{-1} doz anız ve 4 ton da^{-1} doz kompost, uygulamalarında elde edilmiştir. Bu durum, bitki türünden bağımsız olarak organik maddenin toprağın su geçirgenliğini artırıcı etkisini doğrulamaktadır.

En yüksek hidrolik iletkenlik değerleri hem mısır hem de arpa ortamında 4 ton da^{-1} kompost ve 4 ton da^{-1} anız uygulamalarından elde edilmiştir. Organik materyal uygulamaları, toprağın su iletim kapasitesini iyileştirmiş, böylece toprakta drenaj, havalanma ve kök gelişimi açısından daha elverişli bir ortam oluşturarak toprağın su iletim kapasitesini iyileştirmiştir. Bu sonuçlar, organik madde içeriği artırıldığında toprağın fiziksel yapısının önemli ölçüde olumlu etkilendiğini göstermektedir.

Çizelge 4.26: Kullanılan organik materyallerin mısır ve arpa üretiminde K değerine etkileri

Uygulamalar Hidrolik İletkenlik (cm h ⁻¹)	Mısır			Arpa		
	Ortalama	SH	SS	Ortalama	SH	SS
Kontrol	1.19 ^f	0.01019	±0.02495	1.13 ^e	0.03130	±0.07667
Kompost 1 t da ⁻¹	1.86 ^{de}	0.01304	±0.03194	1.74 ^{cd}	0.01705	±0.04176
Kompost 2 t da ⁻¹	2.87 ^b	0.05570	±0.13644	2.29 ^b	0.07175	±0.17575
Kompost 4 t da ⁻¹	3.49 ^a	0.12949	±0.31718	3.03 ^a	0.10344	±0.25337
Anız 1 t da ⁻¹	2.04 ^{cd}	0.00538	±0.01318	1.93 ^c	0.01114	±0.02728
Anız 2 t da ⁻¹	2.39 ^c	0.03923	±0.09609	2.40 ^b	0.01482	±0.03630
Anız 4 t da ⁻¹	3.07 ^b	0.03583	±0.08777	3.06 ^a	0.01739	±0.04260
Yeşil Aksam 1 t da ⁻¹	1.70 ^e	0.01091	±0.02672	1.61 ^d	0.01496	±0.03664
Yeşil Aksam 2 t da ⁻¹	2.00 ^d	0.00748	±0.01832	1.93 ^c	0.00598	±0.01464
Yeşil Aksam 4 t da ⁻¹	2.89 ^b	0.04325	±0.10593	2.89 ^a	0.03488	±0.08544
p	***			***		
Skewness	0.114			0.079		
Kurtosis	-0.851			-0.946		

SH: Standart hata, SS: Standart sapma, *:P<0.05, **:P<0.01, NS: Önemsiz, ***:P<0.001
****: Aynı harfler arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir.



Şekil 4.34: Uygulama yapılan arazide mısır ve arpa üretimi sonrası alınan numunelerin hidrolik iletkenlik değerine etkisi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tarım topraklarının her üretim sezonunda tarla trafiğine maruz kalması sonucu toprakların strüktürel yapısındaki bozulmaları her geçen yıl artmaktadır. Toprakların strüktürel yapısını korumak amacıyla sürdürülebilir tarımsal uygulamalara önem verilmelidir. Toprak strüktürünün korunması ve hatta iyileştirilmesi için toprak organik maddesi kritik öneme sahiptir. Tarımda sürdürülebilirliği korumak ve iyileştirmek için hasat sonrası artıkların yakılarak araziden uzaklaştırılması önlenmelidir. Hasat artıklarının farklı formlarda değerlendirilmesi ve sonrasında toprağa geri kazandırılması toprağın üretim potansiyelinin artırılmasında doğrudan etkilidir.

Çalışma yapılan arazide uygulanan kompost, anız ve yeşil aksamın uygulama dozlarının artmasıyla birlikte, mısır ve arpa yetiştiriciliği yapılan dönemlerde pH değerlerinde kontrole kıyasla düştüğü görülmüştür. Bu durum uygulama materyallerinin toprakta parçalanma süreci devam ettikçe açığa çıkan organik asitlerin ortaya çıkmasıyla desteklenmektedir. Mısır ve arpa yetiştiriciliği yapılan dönemlerde benzer sonuçlar elde edilmiş, EC değerlerinin, kompost uygulamalarında kontrole kıyasla arttığı, anız ve yeşil aksam uygulamalarında kontrole göre azaldığı görülmüştür. Kök biyokütlesinin ilk yıl mısır üretiminde kontrole kıyasla yaş ağırlık ve kuru ağırlıklarında artış görülmüş ve en fazla artış 4 ton da⁻¹ doz uygulamalarda görüşmüştür. Arpa yetiştiriciliği yapılan dönemde kök biyokütlesi değerlerindeki artış öneli bir etki oluşturmamıştır.

Likit limit değerlerinin mısır ve arpa üretim döneminde ayrı ayrı incelendiğinde uygulamaların kontrole kıyasla arttığı fakat anlamlı bulunmadığı belirlenmiştir. Plastik limit değerinin uygulamaların ilk yıl mısır üretimi yapıldığı dönemde, doz artışı ile arttığı görülmüş fakat anlamlı farklılık oluşturmamıştır. Arpa üretimi yapılan dönemde ise plastik limit değerleri doz artışı ile artmış ve 4 ton da⁻¹ doz uygulamalarında en fazla artış görülmüştür. Plastiklik indeksi değerinde ise hem mısır yetiştirilen dönemde hem de arpa yetiştirilen dönemde önemli bir etki oluşturmamıştır. Uygulama yapılan parsellerde likit limit değerleri %50'den az olması ve plastik limit değerlerini %25-35 arasında olması orta derece plastik olduğu ve inorganik killer ile siltlere sahip olduğunu göstermiştir. Atterberg sınırları, toprakların fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştiren önemli parametrelerdir ve toprakların organik madde içeriklerinden etkilenmektedirler.

Hacim ağırlığı değerleri mısır ve arpa üretim dönemlerinde sıkışmış ve sıkışmamış alanlarda yıllar arasında farklılıklar oluşturmuştur, uygulamalarda sıkışmış ve sıkışmamış alanda kontrole kıyasla hacim ağırlığı değerlerinde azalmalar görülmüştür.

Kontrol parsellerinde sıkışmış alanda ölçülen hacim ağırlığı sıkışmamış alanda ölçülen hacim ağırlığından daha yükseltir. Kontrol grubuna göre 4 ton da⁻¹ doz uygulamaların hacim ağırlığı değerleri en düşük değerlere sahiptir. Gözeneklilik ve hava dolu gözenek değerlerinin de uygulanan organik materyallerin mısır ve arpa üretim döneminde sıkışmış ve sıkışmamış alan ölçümlerinde doz artışına karşılık kontrole kıyasla arttığı gözlenmiştir. Mısır üretimi yapılan dönemde tarla kapasitesi, solma noktası ve faydalı su kapasitesi değerleri sıkışmış ve sıkışmamış alanda incelendiğinde oluşan fark önemsiz çıkmıştır. Arpa üretimi yapılan dönemde ise sıkışmış alanda anız ve kompost uygulamalarının önemli, sıkışmamış alanda ise tüm uygulamaların önemli farklılık oluşturduğu ve doz artışı ile tarla kapasitesi değerinin arttığı görülmüştür. Solma noktası değerleri sıkışmış ve sıkışmamış alanda doz artışı iler değeri artmış ve önemli farklılıklar oluşturmuştur. Faydalı su kapasitesi değerinde de sıkışmış ve sıkışmamış alanda doz artışı ile farklılıklar olmuştur.

Çalışmada uygulama yapılan parsellerden sıkışmış alanlarda ve sıkışmamış alanlarda kök gelişiminin olumsuz etkilendiği 2 MPa penetrasyon direncindeki toprak su içeriği belirlenmiştir. Hem mısır üretiminde hem de arpa üretiminde parsellerin sıkışmış alanlarında sınırlayıcı su aralığı değerleri sıkışmamış alana nazaran azalma göstermektedir. Kök gelişiminin en fazla sınırlandığı değer kontrol parsellerinde görülürken, uygulamaların 4 ton da⁻¹ dozlarında bu sınırın en az olduğu görülmüştür. Uygulamalar arasında toprağın sınırlandırılmış su aralığı değerini iyileştiren uygulamanın kompost olduğu görülürken yeşil aksam ve anız uygulamalarının 4 ton da⁻¹ dozlarında sınırlandırılmış su aralığı değerinin arttığı görülmektedir. Uygulama dozlarının artmasıyla parsellerde su tutma kapasitesinde artışlar gözlenmektedir. Sıkışmış ve sıkışmamış alanlarda uygulamaların penetrasyon direnci incelendiğinde, mısır yetiştirilen dönemde sıkışmış alanda kontrole göre kompost uygulamasının 4 ton da⁻¹ dozu en iyi sonucu vermiş ve sıkışmamış alanda bu değer 4 ton da⁻¹ yeşil aksam uygulamasında elde edilmiştir. Arpa yetiştirilen dönemde de sıkışmış ve sıkışmamış alanda penetrasyon direnci değerleri kontrole göre anlamlı farklılıklar oluşturmuştur. Hidrolik iletkenlik değerlerinde ise mısır üretimi yapılan dönemde arpa üretimi yapılan dönemden daha yüksek ve kontrole göre anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Uygulamaların dozları arttıkça hidrolik iletkenlik değerinde artış görülmüştür.

Yapılan çalışma sonucunda, farklı formlarda ve oranlarda uygulanan mısır atıklarının (anız, kompost, yeşil aksam) mısır ve arpa yetiştirilen ortamlarda, tarla trafiğine maruz kalan ve maruz kalmayan alanlardan alınan toprak örnekleri üzerinde

oluşturduğu fiziksel değişimler detaylı olarak incelenmiştir. Çalışma alanının bitki kök ortamındaki toprakların fiziksel özelliklerinden kaynaklı stres koşulları ortaya konulmuştur. Bu koşullar değerlendirilerek, çalışma alanındaki bitkisel üretimi sınırlayan faktörlerin giderilmesi için amenajman önerileri geliştirilmiştir. Ayrıca, organik madde muhafazasının ve üretim potansiyelinin ortaya konularak, benzer koşullardaki bitkisel üretimde verim ve kalitenin geliştirilmesine katkı sunulmuştur. Kompost, anız ve yeşil gübre uygulamalarının her biri toprağın verimliliğini ve sağlığını iyileştirme potansiyeline sahiptir. Kompost ve anız uygulamaları, toprak fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesinde etkili araçlar olarak öne çıkmaktadır. Özellikle 4 ton da⁻¹ doz oranında uygulanmaları, toprak sağlığı ve verimlilik açısından önerilmektedir. Tarla trafiğine maruz kalan alanlarda, sıkışmayı azaltmak ve toprak geçirgenliğini artırmak için yüksek oranda organik madde uygulamaları teşvik edilmelidir. Bu uygulamaların kombine edilmesi, sürdürülebilir tarım uygulamalarında önemli bir rol oynayabilir. Bu çalışmanın sonuçları, üreticilere organik madde yönetimi konusunda bilgi sunmakta ve toprağın uzun vadeli verimliliğini artırma stratejileri geliştirmelerine yardımcı olmaktadır.

KAYNAKLAR

- Açıkbaş, B., Yaşasın, A. S., Gürbüz, M. A., Candar, S. ve Aras-Çınar, G., The Effect of Grape Marc and Olive Pomace Organic Wastes on Nutrition of Kalecik Karası and Narince (*Vitis vinifera* L.) Grape Varieties.
- Adejumo, I. O. ve Adebisi, O. A., 2021, Agricultural Solid Wastes: Causes, Effects, and Effective, *Strategies of sustainable solid waste management*, 139.
- Aggelides, S. ve Londra, P., 2000, Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil, *Bioresource Technology*, 71 (3), 253-259.
- Akpınar, Ç., 2018, Organik Gübre Uygulamalarının ve Kimyasal Gübre Uygulamasının Buğday Bitkisinin Gelişimi ve Besin Elementleri Alımına Etkileri, *alatarım*, 91.
- Akyürek, Z., 2019, Energy recovery from animal manure: biogas potential of Burdur, Turkey, *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A- Applied Sciences and Engineering*, 20 (2), 161-170.
- Alaboz, P. ve Öz, H., 2020, Biyokömür ve solarizasyon uygulamalarının bazı toprak fiziksel özellikler üzerine etkileri, *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 35 (2), 208-214.
- Alagöz, Z., Yılmaz, E. ve Öktüren, F., 2006, Organik materyal ilavesinin bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri üzerine etkileri, *Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture*, 19 (2), 245-254.
- Alakukku, L., 2000, Response of annual crops to subsoil compaction in a field experiment on clay soil lasting 17 years.
- Alemlükoviçenè, J., Armolartıs, K., Česnuleviçienè, R., Èkartè, V. ve Mura Kienè, M., 2017, The status of soil organic matter decomposing microbiota in afforested and abandoned arable Arenosols, *Zemdirbyste-Agriculture*, 104 (3).
- Almomani, F., 2020, Prediction of biogas production from chemically treated co-digested agricultural waste using artificial neural network, *Fuel*, 280, 118573.
- Angelidaki, I., Treu, L., Tsapekos, P., Luo, G., Campanaro, S., Wenzel, H. ve Kougias, P. G., 2018, Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives, *Biotechnology advances*, 36 (2), 452-466.
- Arslan, S., 2006, Toprak sıkışmasının azaltılması için alternatif bir yöntem: kontrollü tarla trafiği, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9 (1), 135-141.
- Awad, A. E., Abuarab, M. E., Abdelraouf, R., Bakeer, G. A., El-Shawadfy, M. A. ve Ragab, R., 2025, Improving yield and irrigation water productivity of green beans under water stress with agricultural solid waste-based material of compacted rice straw as a sustainable organic soil mulch, *Irrigation Science*, 43 (3), 465-490.
- Babla, M., Katwal, U., Yong, M.-T., Jahandari, S., Rahme, M., Chen, Z.-H. ve Tao, Z., 2022, Value-added products as soil conditioners for sustainable agriculture, *Resources, conservation and recycling*, 178, 106079.
- Bahadıroğlu, A., Atay, B. N. ve Kabakçı, S. B., 2022, Agricultural residues in Turkey: energy potential and evaluation of existing biomass power plants, *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 32 (1), 119-131.
- Bai, X., Huang, Y., Ren, W., Coyne, M., Jacinthe, P. A., Tao, B., Hui, D., Yang, J. ve Matocha, C., 2019, Responses of soil carbon sequestration to climate-smart agriculture practices: A meta-analysis, *Global change biology*, 25 (8), 2591-2606.

- Barbosa, F. L., Santos, J. M., Mota, J. C., Costa, M. C., Araujo, A. S., Garcia, K. G., Almeida, M. S., Nascimento, Í. V., Medeiros, E. V. ve Ferreira, O. P., 2024, Potential of biochar to restoration of microbial biomass and enzymatic activity in a highly degraded semiarid soil, *Scientific Reports*, 14 (1), 26065.
- Batey, T., 2009, Soil compaction and soil management—a review, *Soil use and management*, 25 (4), 335-345.
- Bellè, S.-L., Riotte, J., Backhaus, N., Sekhar, M., Jouquet, P. ve Abiven, S., 2022, Tailor-made biochar systems: Interdisciplinary evaluations of ecosystem services and farmer livelihoods in tropical agro-ecosystems, *Plos one*, 17 (1), e0263302.
- BEPA, 2021, Biyokütle enerjisi potansiyeli atlası. , <https://bepa.enerji.gov.tr>: [15/05].
- Bewley, J. D. ve Black, M., 1994, Seeds: germination, structure, and composition, In: *Seeds: physiology of development and germination*, Eds: Springer, p. 1-33.
- Bhatt, R., Kaur, R. ve Ghosh, A., 2019, Strategies to practice climate-smart agriculture to improve the livelihoods under the rice-wheat cropping system in South Asia, In: *Sustainable management of Soil and Environment*, Eds: Springer, p. 29-71.
- Bhushan, L. ve Sharma, P. K., 2002, Long-term effects of lantana (*Lantana spp. L.*) residue additions on soil physical properties under rice–wheat cropping: I. Soil consistency, surface cracking and clod formation, *Soil and tillage research*, 65 (2), 157-167.
- Blake, G. ve Hartge, K., 1986a, Particle density, *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 377-382.
- Blake, G. R. ve Hartge, K., 1986b, Bulk density, *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 363-375.
- Blanco-Canqui, H. ve Lal, R., 2009, Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality, *Critical reviews in plant science*, 28 (3), 139-163.
- Branca, G., Arslan, A., Paolantonio, A., Grever, U., Cattaneo, A., Cavatassi, R., Lipper, L., Hillier, J. ve Vetter, S., 2021, Assessing the economic and mitigation benefits of climate-smart agriculture and its implications for political economy: A case study in Southern Africa, *Journal of cleaner production*, 285, 125161.
- Campbell, G. S., Smith, D. M. ve Teare, B. L., 2007, Application of a dew point method to obtain the soil water characteristic, In: *Experimental unsaturated soil mechanics*, Eds: Springer, p. 71-77.
- Candemir, F. ve Gülser, C., 2010, Effects of different agricultural wastes on some soil quality indexes in clay and loamy sand fields, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42 (1), 13-28.
- Carmo, D. L. d., Lima, L. B. d. ve Silva, C. A., 2016, Soil fertility and electrical conductivity affected by organic waste rates and nutrient inputs, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40, e0150152.
- Chaudhry, V., Rehman, A., Mishra, A., Chauhan, P. S. ve Nautiyal, C. S., 2012, Changes in bacterial community structure of agricultural land due to long-term organic and chemical amendments, *Microbial ecology*, 64 (2), 450-460.
- Chen, C., Zhu, H., Lv, Q. ve Tang, Q., 2022, Impact of biochar on red paddy soil physical and hydraulic properties and rice yield over 3 years, *Journal of Soils and Sediments*, 22 (2), 607-616.
- Chen, G., Weil, R. R. ve Hill, R. L., 2014, Effects of compaction and cover crops on soil least limiting water range and air permeability, *Soil and Tillage Research*, 136, 61-69.
- Çetin, A., 2018, Toprak nemi ve hacim ağırlığının penetrasyon direncine etkisi, *Yüksek Lisans Tezi Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya*.

- Da Silva, A., Kay, B. ve Perfect, E., 1994, Characterization of the least limiting water range of soils, *Soil Science Society of America Journal*, 58 (6), 1775-1781.
- da Silva, A. P. ve Kay, B., 1997, Estimating the least limiting water range of soils from properties and management, *Soil Science Society of America Journal*, 61 (3), 877-883.
- Da Silva, A. P. ve Kay, B., 2004, Linking process capability analysis and least limiting water range for assessing soil physical quality, *Soil and tillage research*, 79 (2), 167-174.
- Dai, L., Li, H., Tan, F., Zhu, N., He, M. ve Hu, G., 2016, Biochar: a potential route for recycling of phosphorus in agricultural residues, *Gcb Bioenergy*, 8 (5), 852-858.
- Dalzell, H., 1987, Soil management: compost production and use in tropical and subtropical environments, 56, Food & Agriculture Org., p.
- Danielson, R. ve Sutherland, P., 1986, Porosity, *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 443-461.
- Davidson, E. A. ve Janssens, I. A., 2006, Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change, *Nature*, 440 (7081), 165-173.
- Demir, Z. ve Gülser, C., 2015, Effects of rice husk compost application on soil quality parameters in greenhouse conditions, *Eurasian Journal of Soil Science*, 4 (3), 185-190.
- Demiralay, İ., 1977, Toprak fiziği ders notları, *Atatürk Üniversitesi. Ziraat Fak. Toprak Bölümü.*, Erzurum, 22.
- Doni, S., Masciandaro, G., Macci, C., Manzi, D., Mattii, G. B., Cataldo, E., Gispert, M., Vannucchi, F. ve Peruzzi, E., 2024, Zeolite and winery waste as innovative by-product for vineyard soil management, *Environments*, 11 (2), 29.
- Drury, C., Zhang, T. ve Kay, B., 2003, The non-limiting and least limiting water ranges for soil nitrogen mineralization, *Soil Science Society of America Journal*, 67 (5), 1388-1404.
- Fageria, N., 2012, Role of soil organic matter in maintaining sustainability of cropping systems, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43 (16), 2063-2113.
- Fernández-Luqueño, F., Corlay-Chee, L., Robledo-Santoyo, E., Pineda-Pineda, J., Vázquez-Alarcón, A., Miranda-Romero, L. A., Cabrera-Lazaro, G., Méndez-Bautista, J., López-Valdez, F. ve Dendooven, L., 2012, Growth and development of common vetch (*Vicia sativa* L.) in a gasoline-polluted soil amended with organic or inorganic amendments, *African Journal of Agricultural Research*, 7 (8), 1259-1267.
- Field, A., 2024, *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*, Sage publications limited, p.
- Fuchs, J. G., Berner, A., Mayer, J., Schleiss, K. ve Kupper, T., 2008, Effects of compost and digestate on environment and plant production—results of two research projects.
- Gamal, R., Abou-Hadid, A. F., Omar, M. E. D. ve Elbana, M., 2024, Does climate change affect wheat productivity and water demand in arid regions? Case study of Egypt, *Journal of Agriculture and Food Research*, 16, 101181.
- Gao, Y., Liang, A., Zhang, Y., McLaughlin, N., Zhang, S., Chen, X., Zheng, H. ve Fan, R., 2021, Dynamics of microbial biomass, nitrogen mineralization and crop uptake in response to placement of maize residue returned to Chinese mollisols over the maize growing season, *Atmosphere*, 12 (9), 1166.
- García-Gil, J., Ceppi, S., Velasco, M., Polo, A. ve Senesi, N., 2004, Long-term effects of amendment with municipal solid waste compost on the elemental and acidic

- functional group composition and pH-buffer capacity of soil humic acids, *Geoderma*, 121 (1-2), 135-142.
- Gee, G. W. ve Bauder, J. W., 1986, Particle-size analysis, *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 383-411.
- Gezgin, S. ve Er, F., 2001, Relationship between total and active iron contents of leaves and observed chlorosis in vineyards in Konya-Hadmalada region of Turkey, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32 (9-10), 1513-1521.
- Ghaida, S. H., Wasis, B. ve Budi, S. W., 2020, Application of arbuscular mycorrhizal fungi and soil ameliorant on the growth of *Leucaena leucocephala* in limestone post-mining soil media, *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 26 (3), 282-282.
- Giorgi, V., Ponzio, C. ve Neri, D., 2008, Olive root growth with different organic matters, *Organic Fruit Conference 873*, 123-128.
- Hamza, M. ve Anderson, W. K., 2005, Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions, *Soil and tillage research*, 82 (2), 121-145.
- Hettiaratchi, D., 1990, Soil compaction and plant root growth, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 329 (1255), 343-355.
- Huang, P.-T., Patel, M., Santagata, M. C. ve Bobet, A., 2009, Classification of organic soils.
- Imran, A., 2018, Organic matter amendments improve soil health, productivity and profitability of maize and soybean, *Ann Rev Resear*, 1 (3), 555564.
- Jagadabhi, P., Wani, S., Kaushal, M., Patil, M., Vemula, A. ve Rathore, A., 2019, Physico-chemical, microbial and phytotoxicity evaluation of composts from sorghum, finger millet and soybean straws, *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8 (3), 279-293.
- James, A., Sánchez, A., Prens, J. ve Yuan, W., 2022, Biochar from agricultural residues for soil conditioning: Technological status and life cycle assessment, *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 25, 100314.
- Kara, Z., Saltalı, K., Çokkızgın, A., Girel, Ü., Çölkesen, M. ve Yürürdurmaz, C., 2022, Farklı organik düzenleyicilerin toprak nem sabiteleri ve hidrolik iletkenlik üzerine etkisi, *MAS Journal of Applied Sciences*, 7 (2), 348-356.
- Kay, B., Hajabbasi, M., Ying, J. ve Tollenaar, M., 2006, Optimum versus non-limiting water contents for root growth, biomass accumulation, gas exchange and the rate of development of maize (*Zea mays* L.), *Soil and Tillage Research*, 88 (1-2), 42-54.
- Keller, T. ve Dexter, A. R., 2012, Plastic limits of agricultural soils as functions of soil texture and organic matter content, *Soil Research*, 50 (1), 7-17.
- Klute, A., 1986, *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*, Ed. 2, p.
- Kolay, B., Gürsoy, S., Avşar, Ö., Bayram, N., Öztürkmen, A. R., Aydemir, S. ve Aktaş, H., 2016, Buğday bitkisine uygulanan farklı miktarlarda leonarditin bazı toprak özelliklerine etkisi, *Toprak Su Dergisi*, 5 (2), 32-36.
- Lal, R., 2004, Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security, *science*, 304 (5677), 1623-1627.
- Latifah, O., Ahmed, O. H. ve Majid, N. M. A., 2018, Soil pH buffering capacity and nitrogen availability following compost application in a tropical acid soil, *Compost Science & Utilization*, 26 (1), 1-15.

- Lima, I. M. ve Wright, M., 2018, Microbial stability of worm castings and sugarcane filter mud compost blended with biochar, *Cogent Food & Agriculture*, 4 (1), 1423719.
- Liu, H., Zhou, H., Lin, C., Li, B., Tian, J. ve Yao, L., 2021, Evaluation of tillage effect on maize production using a modified least limiting water range approach, *Soil Science Society of America Journal*, 85 (6), 1903-1912.
- Lobell, D. B. ve Asseng, S., 2017, Comparing estimates of climate change impacts from process-based and statistical crop models, *Environmental Research Letters*, 12 (1), 015001.
- Lozano, F. J. ve Lozano, R., 2018, Assessing the potential sustainability benefits of agricultural residues: Biomass conversion to syngas for energy generation or to chemicals production, *Journal of cleaner production*, 172, 4162-4169.
- Martínez-Mendoza, L. J., Munoz, R. ve García-Depraect, O., 2024, Enhanced methane production from food waste: A systematic comparison between conventional single-stage and lactate-based two-stage anaerobic digestion processes, *Biomass and Bioenergy*, 188, 107312.
- McLean, E., 1982, Soil pH and lime requirement, *Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and microbiological properties*, 9, 199-224.
- Medina, J., Monreal, C., Barea, J. M., Arriagada, C., Borie, F. ve Cornejo, P., 2015, Crop residue stabilization and application to agricultural and degraded soils: A review, *Waste Management*, 42, 41-54.
- Meena, M. D., Narjary, B., Sheoran, P., Jat, H. S., Joshi, P. K. ve Chinchmalatpure, A. R., 2022, Changes in physical and chemical properties of saline soil amended with municipal solid waste compost and chemical fertilizers in a mustard–pearl millet cropping system, *Land Degradation & Development*, 33 (10), 1677-1688.
- Mertoğlu, S., 1982, Toprak Mekanığı Laboratuvarı El Kitabı, *TC Köyişleri ve Kooperatifler Bakanlığı. Topraksu Genel Müd. Yayın (713)*.
- Mishra, J., Biswal, S., Pattnaik, S., Sahoo, S., Mohapatra, S., Pradhan, J., Mahapatra, S. K. ve Swain, S., 2023, Soil Organic and Enzymatic Properties as Influenced by Green Manuring and Establishment Methods in Rice-rice system, *Int. J. Plant Soil Sci*, 35 (2), 108-113.
- Moraes de Oliveira Pinto, V., Paes Ferreira, M. I., Cruz Moreira, M. A., Quinto Junior, L. d. P. ve Ferreira da Silva, J. A., 2023, Soil management in the Atlantic Forest's rural properties:: the Águas Claras Reserve case.
- Mueller, L., Schindler, U., Mirschel, W., Shepherd, T. G., Ball, B. C., Helming, K., Rogasik, J., Eulenstein, F. ve Wiggering, H., 2011, Assessing the productivity function of soils, In: *Sustainable Agriculture Volume 2*, Eds: Springer, p. 743-760.
- Muhammad, G., Khan, S., Khan, M. A., Anjum, J., Alizai, N. A., Anjum, K., Kakar, H. ve Ziad, T., 2022, Green manuring for increasing nitrogen use efficiency and growth performance of wheat, *Journal of Applied Research in Plant Sciences*, 3 (01), 177-186.
- Mujdeci, M., Isildar, A. A., Uygur, V., Alaboz, P., Unlu, H. ve Senol, H., 2017, Cooperative effects of field traffic and organic matter treatments on some compaction-related soil properties, *Solid Earth*, 8 (1), 189-198.
- Mulumba, L. N. ve Lal, R., 2008, Mulching effects on selected soil physical properties, *Soil and tillage research*, 98 (1), 106-111.
- Mühlbachová, G., Kusá, H., Růžek, P. ve Vavera, R., 2022, CO₂ emissions in a soil under different tillage practices, *Plant, Soil & Environment*, 68 (6).

- Negiş, H., Şeker, C. ve Çetin, A., 2020, Toprak sıkışması ve sınırlayıcı su aralığı üzerine farklı organik materyallerin etkileri, *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 8 (2), 118-127.
- Nelson, D. W. ve Sommers, L. E., 1982, Total carbon, organic carbon, and organic matter, *Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and microbiological properties*, 9, 539-579.
- Nelson, R., 1982, Carbonate and gypsum, *Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and microbiological properties*, 9, 181-197.
- Ohu, J. O., Raghavan, G., McKyes, E., Stewart, K. ve Fanous, M., 1985, The effects of soil compaction and organic matter on the growth of bush beans, *Transactions of the ASAE*, 28 (4), 1056-1061.
- Orzech, K., Wanic, M. ve Załuski, D., 2025, Effect of Preceding Crops, Soil Packing and Tillage System on Soil Compaction, Organic Carbon Content and Maize Yield, *Agriculture*, 15 (11), 1231.
- Pagliai, M., Vignozzi, N. ve Pellegrini, S., 2004, Soil structure and the effect of management practices, *Soil and tillage research*, 79 (2), 131-143.
- Pane, C., Palese, A. M., Spaccini, R., Piccolo, A., Celano, G. ve Zaccardelli, M., 2016, Enhancing sustainability of a processing tomato cultivation system by using bioactive compost teas, *Scientia Horticulturae*, 202, 117-124.
- Pathy, A., Ray, J. ve Paramasivan, B., 2020, Biochar amendments and its impact on soil biota for sustainable agriculture, *Biochar*, 2 (3), 287-305.
- Paustian, K., Andren, O., Janzen, H., Lal, R., Smith, P., Tian, G., Tiessen, H., Van Noordwijk, M. ve Woormer, P., 1997, Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions, *Soil use and management*, 13, 230-244.
- Punyalu, A., Jamjod, S. ve Rerkasem, B., 2018, Intercropping maize with legumes for sustainable highland maize production, *Mountain Research and Development*, 38 (1), 35-44.
- Regnier, P., Resplandy, L., Najjar, R. G. ve Ciais, P., 2022, The land-to-ocean loops of the global carbon cycle, *Nature*, 603 (7901), 401-410.
- Rhoades, J., 1982, in *Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, *Soluble salts*, 167-179.
- Rodrigues, L. A. T., Giacomini, S. J., Dieckow, J., Cherubin, M. R., Ottonelli, A. S. ve Bayer, C., 2022, Carbon saturation deficit and litter quality drive the stabilization of litter-derived C in mineral-associated organic matter in long-term no-till soil, *Catena*, 219, 106590.
- Sadiq, M., Rahim, N., Tahir, M. M., Alasmari, A., Alqahtani, M. M., Albogami, A., Ghanem, K. Z., Abdein, M. A., Ali, M. ve Mehmood, N., 2024, Conservation tillage: a way to improve yield and soil properties and decrease global warming potential in spring wheat agroecosystems, *Frontiers in Microbiology*, 15, 1356426.
- Saha, B., Kumar, S., Verma, D. K., Nag, A., Bhattacharya, P., Dutta, S. K., Kumar, V., Kumari, S., Anjum, M. ve Kumari, S., 2024, Microbial biodegradation of the agricultural wastes for environmental sustainability, In: *Agro-Waste to Microbe Assisted Value Added Product: Challenges and Future Prospects: Recent Developments in Agro-Waste Valorization Research*, Eds: Springer, p. 157-174.
- Sari, S., AKSAKAL, E. L. ve Angin, I., 2017, Influence of vermicompost application on soil consistency limits and soil compactibility, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 41 (5), 357-371.
- Sarker, P. R., Rahman, M. M., Al Mamun, A., Nahar, N. ve Tipu, M. M. H., 2023, Application of municipal solid waste compost and green manure exerted

- residual effects on soil nutrient content and plant nutrient uptake in rice, *International Journal of Plant & Soil Science*, 35 (8), 158-170.
- Schack-Kirchner, H., Fenner, P. T. ve Hildebrand, E., 2007, Different responses in bulk density and saturated hydraulic conductivity to soil deformation by logging machinery on a Ferralsol under native forest, *Soil Use and Management*, 23 (3), 286-293.
- Schillinger, W. F., Paulitz, T. C. ve Hansen, J. C., 2023, Canola rotation effects on soil water and subsequent wheat in the Pacific Northwest USA, *Agronomy journal*, 115 (1), 314-324.
- Schön, J., Gentsch, N. ve Breunig, P., 2024, Cover crops support the climate change mitigation potential of agroecosystems, *Plos one*, 19 (5), e0302139.
- Searle, S. ve Malins, C., 2015, A reassessment of global bioenergy potential in 2050, *Gcb Bioenergy*, 7 (2), 328-336.
- Selçuk, F. ve Gülümser, A. A., 2023, İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİSİNDE TÜRKİYE'DE TARIMSAL ÜRÜN VERİMLİLİĞİ: BÖLGESEL BİR DEĞERLENDİRME, *Bölgesel Kalkınma Dergisi*, 1 (04), 425-451.
- Senesi, N., 1989, Composted materials as organic fertilizers, *Science of the Total Environment*, 81, 521-542.
- Shah, A. N., Tanveer, M., Shahzad, B., Yang, G., Fahad, S., Ali, S., Bukhari, M. A., Tung, S. A., Hafeez, A. ve Souliyanonh, B., 2017a, Soil compaction effects on soil health and cropproductivity: an overview, *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 10056-10067.
- Shah, A. N., Tanveer, M., Shahzad, B., Yang, G., Fahad, S., Ali, S., Bukhari, M. A., Tung, S. A., Hafeez, A. ve Souliyanonh, B., 2017b, Soil compaction effects on soil health and cropproductivity: an overview, *Environmental Science and Pollution Research*, 24 (11), 10056-10067.
- Shaheb, M. R., Venkatesh, R. ve Shearer, S. A., 2021, A review on the effect of soil compaction and its management for sustainable crop production, *Journal of Biosystems Engineering*, 46 (4), 417-439.
- Shahgholı, G. ve Janatkah, J., 2018, Investigation of the effects of organic matter application on soil compaction, *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 28 (2), 175-185.
- Shirani, H., Hajabbasi, M. A., Afyuni, M. ve Hemmat, A., 2002, Effects of farmyard manure and tillage systems on soil physical properties and corn yield in central Iran, *Soil and tillage research*, 68 (2), 101-108.
- Shokati, B., 2014, Effect of conservation tillage on soil fertility factors: A review.
- Soinne, H., Keskinen, R., Tähtikarhu, M., Kuva, J. ve Hyväluoma, J., 2023, Effects of organic carbon and clay contents on structure-related properties of arable soils with high clay content, *European journal of soil science*, 74 (5), e13424.
- Swan, J. B., 1987, Soil compaction: causes, effects and control, Minnesota Extension Service, University of Minnesota, p.
- Şeker, C. ve ali Işildar, A., 1998, Estimation of Soil Compaction by Wheel Traffic from Some Soil Properties, *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 12 (16), 31-40.
- Temiz, C., Akca, M. O., Cayci, G. ve Baran, A., 2021, Assessment of the effect of different compost materials on aggregation and mechanical properties in an Entisol, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52 (8), 871-885.
- Tian, J., He, N., Hale, L., Niu, S., Yu, G., Liu, Y., Blagodatskaya, E., Kuzyakov, Y., Gao, Q. ve Zhou, J., 2018, Soil organic matter availability and climate drive

- latitudinal patterns in bacterial diversity from tropical to cold temperate forests, *Functional ecology*, 32 (1), 61-70.
- Trinchera, A., Torrisi, B., Allegra, M., Rinaldi, S., Rea, E., Intrigliolo, F. ve Rocuzzo, G., 2015, Effects of organic fertilization on soil organic matter and root morphology and density of orange trees, *Acta Horti*, 1065, 1807-1814.
- TSE, 1900, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri, TS.
- Unger, P. W. ve Kaspar, T. C., 1994, Soil compaction and root growth: a review, *Agronomy journal*, 86 (5), 759-766.
- Uzuner, S., Sharma Shivappa, R. R. ve Cekmecelioglu, D., 2017, Bioconversion of alkali pretreated hazelnut shells to fermentable sugars for generation of high value products, *Waste and Biomass Valorization*, 8 (2), 407-416.
- Valenti, F., Zhong, Y., Sun, M., Porto, S. M., Toscano, A., Dale, B. E., Sibilla, F. ve Liao, W., 2018, Anaerobic co-digestion of multiple agricultural residues to enhance biogas production in southern Italy, *Waste Management*, 78, 151-157.
- Virk, A., Memon, K., Memon, M. ve Hussain, S., 2021, Formulation of optimum banana residue based compost product and its efficacy on maize and soil properties, *Indian J. Sci. Technol*, 14, 932-941.
- Whitmore, A., Kirk, G. J. ve Rawlins, B., 2015, Technologies for increasing carbon storage in soil to mitigate climate change, *Soil use and management*, 31, 62-71.
- Wu, L., Feng, G., Letey, J., Ferguson, L., Mitchell, J., McCullough-Sanden, B. ve Markegard, G., 2003, Soil management effects on the nonlimiting water range, *Geoderma*, 114 (3-4), 401-414.
- Yakupoğlu, T., Dindaroğlu, T., Rodrigo-Comino, J. ve Cerdà, A., 2022, Stubble burning and wildfires in Turkey considering the Sustainable Development Goals of the United Nations, *Eurasian Journal of Soil Science*, 11 (1), 66-76.
- Yerli, C.-e. ve Sahin, Ü., 2023, Co2 release from a soil with improved organic matter content with farmyard manure and biochar under the irrigation conditions with different water sources.
- Yu, Q., You, L., Wood-Sichra, U., Ru, Y., Joglekar, A. K., Fritz, S., Xiong, W., Lu, M., Wu, W. ve Yang, P., 2020, A cultivated planet in 2010: 2. the global gridded agricultural production maps, *Earth System Science Data Discussions*, 2020, 1-40.
- Yu, Y., Guo, Q., Zhang, S., Guan, Y., Jiang, N., Zhang, Y., Mao, R., Bai, K., Buriyev, S. ve Samatov, N., 2024, Maize residue retention shapes soil microbial communities and co-occurrence networks upon freeze-thawing cycles, *PeerJ*, 12, e17543.
- Zhang, X. ve Cai, X., 2011, Climate change impacts on global agricultural land availability, *Environmental Research Letters*, 6 (1), 014014.
- Zhu, X., Peng, W., Xie, Q. ve Ran, E., 2024, Effects of soil compaction stress combined with drought on soil pore structure, root system development, and maize growth in early stage, *Plants*, 13 (22), 3185.

EKLER

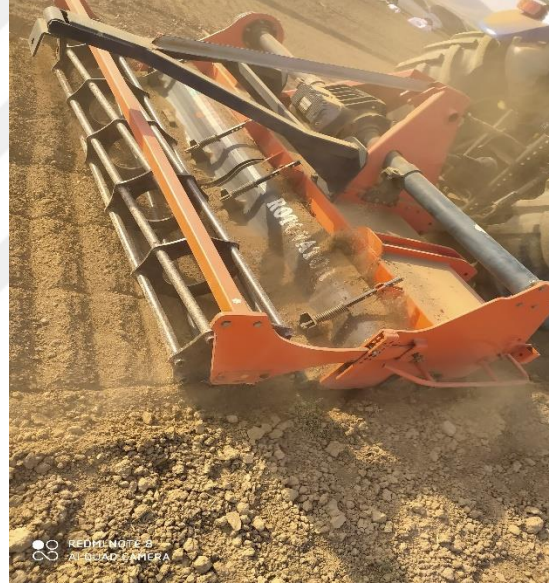
EK-1 Parsellere Farklı Dozlarda Kompost Uygulama ve Toprağa Karıştırma Aşaması



EK-2 Parsellere Farklı Dozlarda Anız Uygulama ve Toprağa Karıştırma Aşaması



EK-3 Parsellere Farklı Dozlarda Yeşil Aksam Uygulama ve Toprağa Karıştırma Aşaması



EK-4

Aşağıda ilk yıl mısır bitkisinin yetiştirildiği dönemde organik materyal uygulaması yapıldıktan sonra elde edilen bazı parametrelerin varyans analiz tabloları verilmiştir.

Ek-4.1: Mısır üretim döneminde uygulamaların pH ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. pH	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	1.590	11	0.145	18.773	<0.001
G. İçi	0.739	96	0.008		
Toplam	2.329	107			

Ek-4.2: Mısır üretim döneminde uygulamaların EC ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	2121677.519	11	192879.774	936.099	<0.001
G. İçi	19780.444	96	206.046		
Toplam	2141457.963	107			

Ek-4.3: Mısır üretim döneminde uygulamaların kuru kök ağırlık ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Kuru Kök Ağırlık (g)	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	1493.185	9	165.909	3.586	0.002
G. İçi	2313.531	50	46.271		
Toplam	3806.716	59			

Ek-4.4: Mısır üretim döneminde uygulamaların yaş kök ağırlık ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Yaş Kök Ağırlık (g)	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	18195.111	9	2021.679	10.808	<0.001
G. İçi	9353.109	50	187.062		
Toplam	27548.221	59			

Ek-4.5: Mısır üretim döneminde uygulamaların LL ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Likit Limit (%)	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	203.526	11	18.502	7.088	<0.001
G. İçi	156.620	60	2.610		
Toplam	360.146	71			

Ek-4.6: Mısır üretim döneminde uygulamaların PL ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Plastik Limit (%)	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	64.268	11	5.843	2.281	0.021
G. İçi	153.690	60	2.561		
Toplam	217.958	71			

Ek-4.7: Mısır üretim döneminde uygulamaların Pİ ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Plastiklik İndeksi	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	54.808	11	4.983	1.485	0.161
G. İçi	201.384	60	3.356		
Toplam	256.192	71			

Ek-4.8: Mısır üretim döneminde uygulamaların sıkışmış alan Pb ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Hacim Ağırlığı (g cm⁻³) Sıkışmış Alan	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	0.052	11	0.005	4.308	<0.001
G. İçi	0.065	60	0.001		
Toplam	0.117	71			

Ek-4.9: Mısır üretim döneminde uygulamaların sıkışmamış alan Pb ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Hacim Ağırlığı (g cm⁻³) Sıkışmamış Alan	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	0.132	11	0.012	11.925	<0.001
G. İçi	0.061	60	0.001		
Toplam	0.193	71			

Ek-4.10: Mısır üretim döneminde uygulamaların sıkışmış alan P ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Gözeneklilik (%) Sıkışmış Alan	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	62.445	9	6.938	2.903	0.008
G. İçi	119.509	50	2.390		
Toplam	181.954	59			

Ek-4.11: Mısır üretim döneminde uygulamaların sıkışmamış alan P ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Gözeneklilik (%) Sıkışmamış Alan	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	127.577	9	14.175	9.766	<0.001
G. İçi	72.574	50	1.451		
Toplam	200.151	59			

Ek-4.12: Mısır üretim döneminde uygulamaların sıkışmış alan HDG ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Hava Dolu Gözeneklilik (%)	SS	DF	MS	F	P
Sıkışmış Alan					
G. Arası	62.445	9	6.938	2.903	0.008
G. İçi	119.509	50	2.390		
Toplam	181.954	59			

Ek-4.13: Mısır üretim döneminde uygulamaların sıkışmamış alan HDG ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Hava Dolu Gözeneklilik (%)	SS	DF	MS	F	P
Sıkışmamış Alan					
G. Arası	127.577	9	14.175	9.766	<0.001
G. İçi	72.574	50	1.451		
Toplam	200.151	59			

Ek-4.14: Mısır üretim döneminde uygulamaların sıkışmış alan TK ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Tarla Kapasitesi (%)	SS	DF	MS	F	P
Sıkışmış Alan					
G. Arası	365.667	9	40.630	0.933	0.519
G. İçi	870.821	20	43.541		
Toplam	1236.488	29			

Ek-4.15: Mısır üretim döneminde uygulamaların sıkışmamış alan TK ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Tarla Kapasitesi (%)	SS	DF	MS	F	P
Sıkışmamış Alan					
G. Arası	225.472	9	25.052	1.334	0.281
G. İçi	375.624	20	18.781		
Toplam	601.096	29			

Ek-4.16: Mısır üretim döneminde uygulamaların sıkışmış alan SN ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Solma Noktası (%)	SS	DF	MS	F	P
Sıkışmış Alan					
G. Arası	80.389	9	8.932	1.117	0.395
G. İçi	159.860	20	7.993		
Toplam	240.249	29			

Ek-4.17: Mısır üretim döneminde uygulamaların sıkışmamış alan SN ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Solma Noktası (%)	SS	DF	MS	F	P
Sıkışmamış Alan					
G. Arası	59.687	9	6.632	1.015	0.461
G. İçi	130.632	20	6.532		
Toplam	190.319	29			

Ek-4.18: Mısır üretim döneminde uygulamaların sıkışmış alan FSK ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Faydalı Su Kapasitesi (%) Sıkışmış Alan	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	290.236	9	32.248	1.030	0.451
G. İçi	626.275	20	31.314		
Toplam	916.510	29			

Ek-4.19: Mısır üretim döneminde uygulamaların sıkışmamış alan FSK ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Faydalı Su Kapasitesi (%) Sıkışmamış Alan	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	217.039	9	24.115	0.789	0.630
G. İçi	611.505	20	30.575		
Toplam	828.544	29			

Ek-4.20: Mısır üretim döneminde uygulamaların sıkışmış alan 0-10 cm PD ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Penetrasyon Direnci (MPa) Sıkışmış Alan (0-10 cm)	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	16.528	11	1.503	2.795	0.002
G. İçi	240.808	448	0.538		
Toplam	257.336	459			

Ek-4.21: Mısır üretim döneminde uygulamaların sıkışmış alan 10-20 cm PD ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Penetrasyon Direnci (MPa) Sıkışmış Alan (10-20 cm)	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	59.592	11	5.417	14.102	<0.001
G. İçi	172.102	448	0.384		
Toplam	231.694	459			

Ek-4.22: Mısır üretim döneminde uygulamaların sıkışmış alan 20-40 cm PD ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Penetrasyon Direnci (MPa) Sıkışmış Alan (20-40 cm)	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	358.245	11	32.568	38.667	<0.001
G. İçi	795.942	945	0.842		
Toplam	1154.187	956			

Ek-4.23: Mısır üretim döneminde uygulamaların sıkışmamış alan 0-10 cm PD ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Penetrasyon Direnci (MPa) Sıkışmamış Alan (0-10 cm)	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	5.743	11	0.522	19.097	<0.001
G. İçi	12.248	448	0.027		
Toplam	17.991	459			

Ek-4.24: Mısır üretim döneminde uygulamaların sıkışmamış alan 10-20 cm PD ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Penetrasyon Direnci (MPa)	SS	DF	MS	F	P
Sıkışmamış Alan (10-20 cm)					
G. Arası	11.738	11	1.067	11.611	<0.001
G. İçi	41.176	448	0.092		
Toplam	52.915	459			

Ek-4.25: Mısır üretim döneminde uygulamaların sıkışmamış alan 20-40 cm PD ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Penetrasyon Direnci (MPa)	SS	DF	MS	F	P
Sıkışmamış Alan (20-40 cm)					
G. Arası	44.571	11	4.052	5.411	<0.001
G. İçi	707.598	945	0.749		
Toplam	752.169	956			

Ek-4.26: Mısır üretim döneminde uygulamaların sıkışmamış alan K ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

M. Hidrolik İletkenlik (cm h⁻¹)	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	41.101	11	3.736	295.973	<0.001
G. İçi	0.757	60	0.013		
Toplam	41.859	71			

EK-5

Aşağıda ikinci yıl arpa bitkisinin yetiştirildiği dönemde toprağa organik materyal uygulaması yapıldıktan sonra elde edilen bazı parametrelerin varyans tabloları verilmiştir.

EK-5.1: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının pH ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. pH	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	0.547	11	0.050	10.235	<0.001
G. İçi	0.467	96	0.005		
Toplam	1.014	107			

EK-5.2: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının EC ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	3214038.991	11	292185.363	3189.893	<0.001
G. İçi	8793.333	96	91.597		
Toplam	3222832.324	107			

EK-5.3: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının kuru kök ağırlık ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Kuru Kök Ağırlık (g)	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	11.682	9	1.298	1.315	0.253
G. İçi	49.342	50	0.987		
Toplam	61.023	59			

EK-5.4: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının yaş kök ağırlık ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Yaş Kök Ağırlık (g)	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	21.936	9	2.437	1.530	0.163
G. İçi	79.668	50	1.593		
Toplam	101.604	59			

EK-5.5: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının LL ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Likit Limit (%)	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	59.254	11	5.387	4.665	<0.001
G. İçi	69.277	60	1.155		
Toplam	128.531	71			

EK-5.6: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının PL ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Plastik Limit (%)	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	718.161	11	65.287	22.237	<0.001
G. İçi	176.160	60	2.936		
Toplam	894.322	71			

EK-5.7: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının Pİ ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Plastiklik İndeksi	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	449.226	11	40.839	8.678	<0.001
G. İçi	282.365	60	4.706		
Toplam	731.591	71			

EK-5.8: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının sıkışmış alan Pb ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Hacim Ağırlığı (g cm⁻³)	SS	DF	MS	F	P
Sıkışmış Alan					
G. Arası	0.230	11	0.021	80.111	<0.001
G. İçi	0.016	60	0.000		
Toplam	0.245	71			

EK-5.9: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının sıkışmamış alan Pb ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Hacim Ağırlığı (g cm⁻³)	SS	DF	MS	F	P
Sıkışmamış Alan					
G. Arası	0.166	11	0.015	38.576	<0.001
G. İçi	0.023	60	0.000		
Toplam	0.189	71			

EK-5.10: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının sıkışmış alan P ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Gözeneklilik (%)	SS	DF	MS	F	P
Sıkışmış Alan					
G. Arası	48.306	9	5.367	16.197	<0.001
G. İçi	3.314	10	0.331		
Toplam	51.619	19			

EK-5.11: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının sıkışmamış alan P ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Gözeneklilik (%)	SS	DF	MS	F	P
Sıkışmamış Alan					
G. Arası	39.715	9	4.413	11.713	<0.001
G. İçi	3.767	10	0.377		
Toplam	43.483	19			

EK-5.12: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının sıkışmış alan HDG ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Hava Dolu Gözeneklilik (%) Sıkışmış Alan	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	48.306	9	5.367	16.197	<0.001
G. İçi	3.314	10	0.331		
Toplam	51.619	19			

EK-5.13: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının sıkışmamış alan HDG ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Hava Dolu Gözeneklilik (%) Sıkışmamış Alan	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	39.715	9	4.413	11.713	<0.001
G. İçi	3.767	10	0.377		
Toplam	43.483	19			

EK-5.14: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının sıkışmış alan TK ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Tarla Kapasitesi (%) Sıkışmış Alan	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	505.791	11	45.981	29.010	<0.001
G. İçi	95.100	60	1.585		
Toplam	600.891	71			

EK-5.15: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının sıkışmamış alan TK ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Tarla Kapasitesi (%) Sıkışmamış Alan	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	150.238	11	13.658	11.715	<0.001
G. İçi	69.951	60	1.166		
Toplam	220.189	71			

EK-5.16: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının sıkışmış alan SN ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Solma Noktası (%) Sıkışmış Alan	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	250.973	11	22.816	8.106	<0.001
G. İçi	168.884	60	2.815		
Toplam	419.857	71			

EK-5.17: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının sıkışmamış alan SN ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Solma Noktası (%) Sıkışmamış Alan	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	216.901	11	19.718	6.730	<0.001
G. İçi	175.785	60	2.930		
Toplam	392.686	71			

EK-5.18: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının sıkışmış alan FSK ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Faydalı Su Kapasitesi (%) Sıkışmış Alan	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	475.418	11	43.220	10.171	<0.001
G. İçi	254.959	60	4.249		
Toplam	730.377	71			

EK-5.19: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının sıkışmamış alan FSK ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Faydalı Su Kapasitesi (%) Sıkışmamış Alan	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	223.337	11	20.303	4.908	<0.001
G. İçi	248.215	60	4.137		
Toplam	471.552	71			

EK-5.20: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının sıkışmış alan 0-10 cm PD ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Penetrasyon Direnci (MPa) Sıkışmış Alan (0-10 cm)	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	37.829	12	3.152	6.689	<0.001
G. İçi	106.985	227	0.471		
Toplam	144.814	239			

EK-5.21: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının sıkışmış alan 10-20 cm PD ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Penetrasyon Direnci (MPa) Sıkışmış Alan (10-20 cm)	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	45.177	12	3.765	18.941	<0.001
G. İçi	45.119	227	0.199		
Toplam	90.297	239			

EK-5.22: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının sıkışmış alan 20-40 cm PD ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Penetrasyon Direnci (MPa) Sıkışmış Alan (20-40 cm)	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	617.752	11	56.159	68.659	<0.001
G. İçi	382.799	468	0.818		
Toplam	1000.551	479			

EK-5.23: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının sıkışmamış alan 0-10 cm PD ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Penetrasyon Direnci (MPa) Sıkışmamış Alan (0-10 cm)	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	28.489	12	2.374	5.768	<0.001
G. İçi	93.439	227	0.412		
Toplam	121.929	239			

EK-5.24: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının sıkışmamış alan 10-20 cm PD ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Penetrasyon Direnci (MPa)	SS	DF	MS	F	P
Sıkışmamış Alan (10-20 cm)					
G. Arası	109.424	12	9.119	54.289	<0.001
G. İçi	38.128	227	0.168		
Toplam	147.552	239			

EK-5.25: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının sıkışmamış alan 20-40 cm PD ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Penetrasyon Direnci (MPa)	SS	DF	MS	F	P
Sıkışmamış Alan (20-40 cm)					
G. Arası	611.709	11	55.610	107.310	<0.001
G. İçi	242.527	468	0.518		
Toplam	854.236	479			

EK-5.26: Arpa üretim döneminde kompost uygulamasının K ölçümlerinin varyans analiz sonuçları

A. Hidrolik İletkenlik (cm h⁻¹)	SS	DF	MS	F	P
G. Arası	34.353	11	3.123	294.624	<0.001
G. İçi	.636	60	.011		
Toplam	34.989	71			